

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO
DE DEPÓSITOS CENTRAIS DE DISTRIBUIÇÃO
EM ÁREAS URBANAS

POR

AUGUSTO CESAR BASÍLIO SOARES

TESE SUBMETIDA
COMO REQUISITO PARCIAL
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS
EM TRANSPORTES

Assinatura do Orientador da Tese

João Bernardo Felex

JOSE BERNARDES FELEX

Rio de Janeiro

Março , 1981

À meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Professor José Bernardes Felex pela orientação dedicada no desenvolvimento deste trabalho .

Ao Professor Masaharu Fukuyama que tanto contribuiu com suas idéias e expressiva colaboração .

Ao Professor Carlos Augusto Guimarães Cordovil pela suas sugestões e comentários construtivos .

Ao INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA - IME, Seção de Engenharia e Construção (S-2) e à Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT, pelas condições oferecidas para a realização do curso .

Aos meus familiares pelo incentivo e apoio constante transmitidos desde o início do Curso .

Aos prezados companheiros de curso que sempre me distinguiram com muita amizade, consideração e constantes incentivos ao longo desta jornada .

A Sra. Emilia Rovere Guimarães Baptista pela excelente datilografia desta dissertação .

Ano de

SUMÁRIO

Desenvolve-se uma técnica para auxílio na tomada de decisão quanto à localização de depósitos centrais de distribuição em áreas urbanas.

A técnica proposta consiste do uso de um modelo matemático para a determinação da área de influência, número approximado de depósitos do sistema, e de um algoritmo heurístico de otimização de rotas de veículo com objetivo de fornecer maior precisão na quantificação dos custos de transporte de cada localização analisada.

Utiliza-se o programa VEHICLE SCHEDULING PROGRAM EXTENDED - VSPX - IBM, que estabelece rotas otimizadas para veículos de distribuição, a fim de se obter os dados necessário (quilômetros percorridos e número de veículos da frota) para estimar os custos de transportes, posteriormente associados aos custos de armazenagem. A contribuição do trabalho é a utilização de algoritmos heurísticos, tradicionalmente usado somente para o roteamento de veículos, em estudos de localização de depósitos.

A técnica é testada em exemplo teórico de um sistema de distribuição de refrigerantes na cidade do Rio de Janeiro onde se analisou quatro alternativas de localização do depósito, determinando-se a localização que fornece o menor custo de distribuição(transporte e armazenagem).

ABSTRACT

A technique to help location decision of central distribution depots in urban areas is developed.

The proposed technique makes use of a mathematical model determine the influence area and the approximate number of depots of the system, and of a heuristic algorithm to obtain more precision in the determination of transportation costs of each analysed location .

The Vehicle Scheduling Program Extented — VSPX from IBM, that gives optimized routs to vehicles used in distribution is used in order to obtain the necessary data (mileage and fleet) to estimate the transportation costs that will be added to storage costs .

The contribution of this work is the utilization of heuristic algorithms, only used in routing vehicles, in studies of location of depots .

The technique is tested on a theoretical example: a distribution system of soft drinks in the city of Rio de Janeiro. Four alternatives of depots location are analysed and one that gives the less distribuition cost (transportation and storage) is selected .

ÍNDICE

SUMÁRIO	iii
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
SIMBOLOGIA	xii
I - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Generalidades	1
1.2 - Objetivo	2
1.3 - Resumo	3
1.4 - Revisão de Literatura	3
II - TÉCNICA PROPOSTA PARA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS CENTRAIS DE DISTRIBUIÇÃO EM ÁREAS URBANAS	7
2.1 - Considerações Gerais	7
2.2 - Determinação da Área de Influência e do Número, Aproximado dos Depósitos	11
2.3 - Programação de Rotas para Veículos (PRV)	18
2.4 - Utilização da PRV em Estudos de Localiza ção de Depósitos	24
2.4.1 - Comentários Iniciais	24
2.4.2 - Informações Requeridas	25
2.4.3 - Custo de Transporte	27
2.4.4 - Custo de Armazenagem	30

III - EXEMPLO DE APLICAÇÃO	33
3.1 - Caracterização do Problema	33
3.2 - Dados da Demanda do Produto	34
3.3 - Características Operacionais dos Veículos	35
3.4 - Determinação da Área de Influência e do Número Aproximado de Depósitos	36
3.5 - Alternativas de Localização Admitidas	37
3.6 - Custo de armazenagem do Sistema de Distribuição	38
3.7 - Características de Operação do Sistema de Distribuição	40
3.8 - Utilização do VSPX - Vehicle Scheduling Program Extended	41
3.9 - Análise dos Resultados	47
IV - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	51
APÊNDICE A - PROGRAMA DE COMPUTAÇÃO UTILIZADO	54
APÊNDICE B - CÁLCULO DO CUSTO ANUAL DE TRANSPORTE	60
ANEXOS - QUADROS DE DADOS DE ENTRADA/SAÍDA DO PROGRAMA	62
BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Composição dos Custos de Movimentação de Materiais	31
QUADRO 2 - Características dos Veículos Utilizados na Distribuição	35
QUADRO 3 - Custo Anual de Armazenagem estimada	39
QUADRO 4 - Localização das Alternativas Analizadas	43
QUADRO 5 - Utilização da Frota de Veículos para as Alternativas Analizadas (dados de saída do VSPX)	46
QUADRO 6 - Composição do Custo Anual de Transporte	49
QUADRO 7 - Custo Anual da Distribuição	50
QUADRO 8 - Coeficiente de Ajuste das Distâncias em Função da Rede Viária	57

QUADRO 9 - Comparação entre Algoritmos de Programação de Rotas para Veículos	63
QUADRO 10 - Características da Área de Estudo	64
QUADRO 11 - Coordenadas Cartessianas das Zonas de entregas (Ipanema, Leblon, Copacabana e Leme)	65
QUADRO 12 - Coordenadas Cartessianas das Zonas de entregas (Botafogo, Gávea, São Conrado e Barra)	66
QUADRO 13 - Quantidade Demandada por Ponto de Entrega (clientes) Bairros Ipanema/Leblon	67
QUADRO 14 - Quantidade Demandada por Ponto de Entrega (clientes) Bairros Copacabana/Leme	68
QUADRO 15 - Quantidade Demandada por Ponto de Entrega (cliente) Bairros Botafogo/Gávea	69
QUADRO 16 - Quantidade Demandada por Ponto de Entrega (cliente) Bairros São Conrado/Barra	70

QUADRO 17 - Parâmetros de Operação do Sistema
de Distribuição

71

QUADRO 18 - Características de Operação dos
Veículos

72

QUADRO 19 - Sumário de Utilização da Frota
(Alternativa A)

73

QUADRO 20 - Sumário de Utilização da Frota
(Alternativa B-1)

74

QUADRO 21 - Sumário de Utilização da Frota
(Alternativa B-2)

75

QUADRO 22 - Sumário de Utilização da Frota
(Alternativa B-3)

76

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Caracterização das distâncias consideradas nos estudos de localização de depósitos.

8

FIGURA 2 - Etapas da Técnica Proposta de Localização.

10

FIGURA 3 - Representação Gráfica de uma Rete Quadrada das Áreas de Interferência de um depósito.

11

FIGURA 4 - Representação Gráfica de Viagem de Atendimentos Individual dos clientes pelo Depósito

22

FIGURA 5 - Representação Gráfica da Economia de Percurso ao se alocar os clientes " C_j " e " C_k " em uma mesma viagem.

23

FIGURA 6 - Curva de Distribuição de Frequência Normal Considerada para Representar a Quantidade Demandada por cliente

34

Figura 7 - Características da área de estudo

44

Figura 8 - Fases de Operação do Vehicle
Scheduling Program Extended, VSPX

IBM

56

SIMBOLOGIA

A	Região de Influência de um Depósito
A_o	Área Ótima de Influência de um Depósito
A_j	Área de Influência de um Depósito "j"
c_i	Cliente i
c_j	Cliente j
c_k	Cliente k
c_{fi}	Custo Fixo Anual Relacionado com o Número de Veículos do Tipo "i" da Frota
c_{fvi}	Custo Fixo Mensal de um Veículo do Tipo "i"
c_{vvi}	Custo Variável Anual Relacionado com as Distâncias Percorridas pelo Veículos do Tipo "i"
c_{vvi}	Custo Variável por Quilômetro percorrido pelo Veículo do Tipo "i"

C_{pa}	Custo de Armazenagem em Função da Capacidade do Depósito
DCD	Depósito Central de Distribuição
D_o	Depósito
c_{ij}	Distância entre os Clientes C_j e C_k
d_{oi}	Distância entre o Depósito e o Cliente C_i
d_{oj}	Distância entre o depósito e o Cliente C_j
K	Fator Geométrico Característico da Rede
(j,k)	Arco entre os Clientes C_j e C_k
M_i	Número de Veículos do Tipo "i"
N	Número de Veículos da Frota
N_i	Número de Dias de Trabalho por mês do Veículo "i"
PRV	Programação de Rotas para Veículos

s_{kj}	Economia de Percurso entre os Clientes C_k e C_j ao serem Atendidos pelo mesmo Veículo
t_c	Tempo de Parada no Cliente (ruim)
t_d	Tempo de Parada no Depósito (ruim)
VSPX	Vehicle Scheduling Program Extended- IBM
w_c	Quantidade do Produto Distribuído por Cliente
w_d	Quantidade do Produto Recarregado no Veículo no Depósito
(x, y)	Coordenada Cartessiana de um Ponto de Demanda
(x_j, y_j)	Coordenadas Cartessianas do Depósitos "j"
$p(x, y)$	Demandado do Produto do Ponto (x, y)
L	Constante do Custo de Armazenagem
J	Custo de Transporte por Quilômetro por Unidade Mercadoria Transportada
U	Constante do Custo de Armazenagem

P

Demandas Uniformes por Quilômetro Quadrado

λ_{jk}

Economia de Percurso ao se alocar o par de Clientes C_j e C_k em uma mesma Viagem, Apresentada por Gaskell

π_{jk}

Economia de Percurso ao se alocar o par de Cliente C_j e C_k em uma mesma Viagem Desprezando as Distâncias " d_{jk} " apresentada por Gaskell

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades

Nos grandes centros urbanos, a distribuição de produtos de consumo, tais como gêneros alimentícios, bebidas, gás engarrafado, etc., gera intensa movimentação de veículo de carga (caminhões e utilitários) .

Com o crescimento do volume de tráfego nos últimos anos aliado às deficiências da rede viária, competição pelo uso do espaço urbano para estacionamento, utilização de veículos inadequados à esta operação e seus custos operacionais, agravados após a crise de petróleo, provocaram o aumento do custo de distribuição devido ao maior custo de transportes e, das deficiências na comercialização .

Como decorrência a distribuição física na logística industrial despertou mais atenção por parte do especialistas no setor, e algumas alternativas para minimizar as deficiências de comercialização e reduzir o custo de transportes, foram propostas tais como entrega noturna ou a utilização de menores veículos, facilitando a sua movimentação .

A implantação de depósitos centrais de distribuição (DCD) - nas áreas dos grandes centros urbanos com demanda de grande significância e mais próximos ao consumidor, ou mesmo, ao imóvel do cliente, pode ser um dos procedimentos que aumente a velocidade de atendimento e reduza os custos de transportes em circunstâncias especiais .

1.2 - Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo básico desenvolver um método de análise, para o auxílio de tomada de decisão relativa à localização de depósitos centrais de distribuição em áreas urbanas (DCD), que ofereça uma solução mais precisa para determinar o número e localização de depósitos, utilizando-se algoritmos de programação de rotas para veículos de distribuição (PRV) .

Vários estudos de localização de depósitos foram desenvolvidos^{1, 2, 3} e⁴ com o objetivo de tornar mínimo os custos do sistema de distribuição de produtos de consumo. Em geral estes estudos indicam o número de depósitos ótimo relacionados principalmente com os custos de transportes e armazenagem, procurando a configuração do sistema que torne mínima soma destes custos .

Porém o levantamento do custo de transporte por tais métodos nem sempre são representativos do que ocorre na prática, especialmente em casos de distribuição em áreas urbanas quando os veículos atendem mais de um cliente em mesma viagem .

1.3 - Resumo

Para desenvolvimento do presente trabalho no segundo capítulo apresenta-se um método que determina o número e a localização aproximada de depósitos centrais, descrevendo em seguida um procedimento de programação de rotas para veículos de distribuição que será usado para melhorar a solução anteriormente encontrada .

No terceiro capítulo é feita uma aplicação do modelo para a distribuição de refrigerantes na zona sul da cidade do Rio de Janeiro .

Finalmente no quarto capítulo apresenta-se as conclusões do trabalho e sugere-se alguns estudos que poderão ser desenvolvidos em pesquisas futuras .

1.4 - Revisão de Literatura

A localização de instalações industriais (fábrica,

armazens ou depósitos) foi inicialmente estudada por Weber², que introduziu a idéia de minimização do somatório das distâncias radiais, no espaço bi-dimensional Euclidiano. Outros autores como Vergin e Roger³ desenvolveram estudos utilizando conceitos introduzidos por Weber². Tais estudos eram dirigidos para determinar a localização de apenas um depósito para cada área estudada, não se preocupando com o custo de armazenagem.

Elson⁴ desenvolveu um método para selecionar a locação ótima de depósitos usando programação inteira consideradas conjuntamente os custos de transportes e armazenagem.

Bouman e Skwart⁵ descreveram uma técnica para estimar, de maneira aproximada, o tamanho médio da área de influência de um depósito, e indiretamente o número de armazéns que minimiza os custos de armazenagem e de entrega.

Kuehn e Hamburger⁶ estudaram a seleção de um conjunto ótimo de locais para a instalação de depósitos utilizando-se de métodos heurísticos.

Novaes⁷ desenvolveu um modelo de distribuição urbana de mercadorias com objetivo de definir o número de zonas de entrega em que a área urbana deve ser dividida.

Newell¹ estudou o problema de localização de depósitos e a determinação de sua área de influência para estabelecer um custo mínimo da distribuição (custo de transporte e armazenagem).

A Programação de Rotas para Veículo (PRV) foi preliminarmente estudada por Dantzig e Ronser⁸ e visa minimizar as distâncias percorridas para atender a um grupo de clientes espalhados na malha urbana. Chiristofides e Eilon⁹ desenvolveram uma técnica baseada nos procedimentos tipo "branch and bound" para obtenção da solução da solução ótima para PRV.

Clarke e Wright¹⁰ definiram o conceito de "economia de percurso" entre pares de clientes locados em uma mesma rota e relataram um método heurístico adequado ao trabalho em computador mas que não garante a solução ótima.

Autores como Garkeel¹¹, Gillett e Miller¹² e Holmes e Parker¹³ desenvolveram os métodos de estudos de PRV utilizando-se dos conceitos de Clarke e Wright¹⁰.

As operações de logísticas industriais associadas à

distribuição de produtor é descrita por Mage¹⁴, Dehays e Taylor¹⁵ e Bodmer e Cordovil¹⁶. A movimentação e armazenagem de materiais é analizada por Moura¹⁷ sob diversos aspectos integrantes do sistema de distribuição.

CAPÍTULO II

TÉCNICA PROPOSTA PARA A LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS CENTRAIS DE DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA URBANAS

2.1 - Considerações Gerais

Nos sistemas de distribuição em geral, o custo de transporte decresce com o aumento do número de DCD implantados que seja considerado na escolha de rotas ótimas ou não. Por outro lado, o custo de armazenagem crescerá com o aumento do número de depósitos. A determinação do número e localização ótima dos DCD's é feita pesquisando-se o ponto de equilíbrio entre esses dois fatores (custo de transporte e armazenagem) .

A maneira de determinar o número ótimo de DCD, sem considerar o roteamento de veículos, será mostrado mais detalhadamente no ítem 2.2, onde apresenta-se um estudo desenvolvido por Newell¹

Porém, ao considerarmos nos estudos de localização os efeitos de roteamento de veículos, tal procedimento afetará o custo de transporte da seguinte maneira : A

Figura 1(a) mostra a trajetória do veículo quando atende cada cliente individualmente. A Figura 1(b) mostra o itinerário do veículo quando em uma mesma viagem vários clientes são atendidos. Pode-se notar que, ao considerarmos a situação mostrada na Figura 1(b), os custos de transportes são estimados de maneira realista e tornando o custo de distribuição menor em comparação com a situação mostrada na Figura 1(a) .

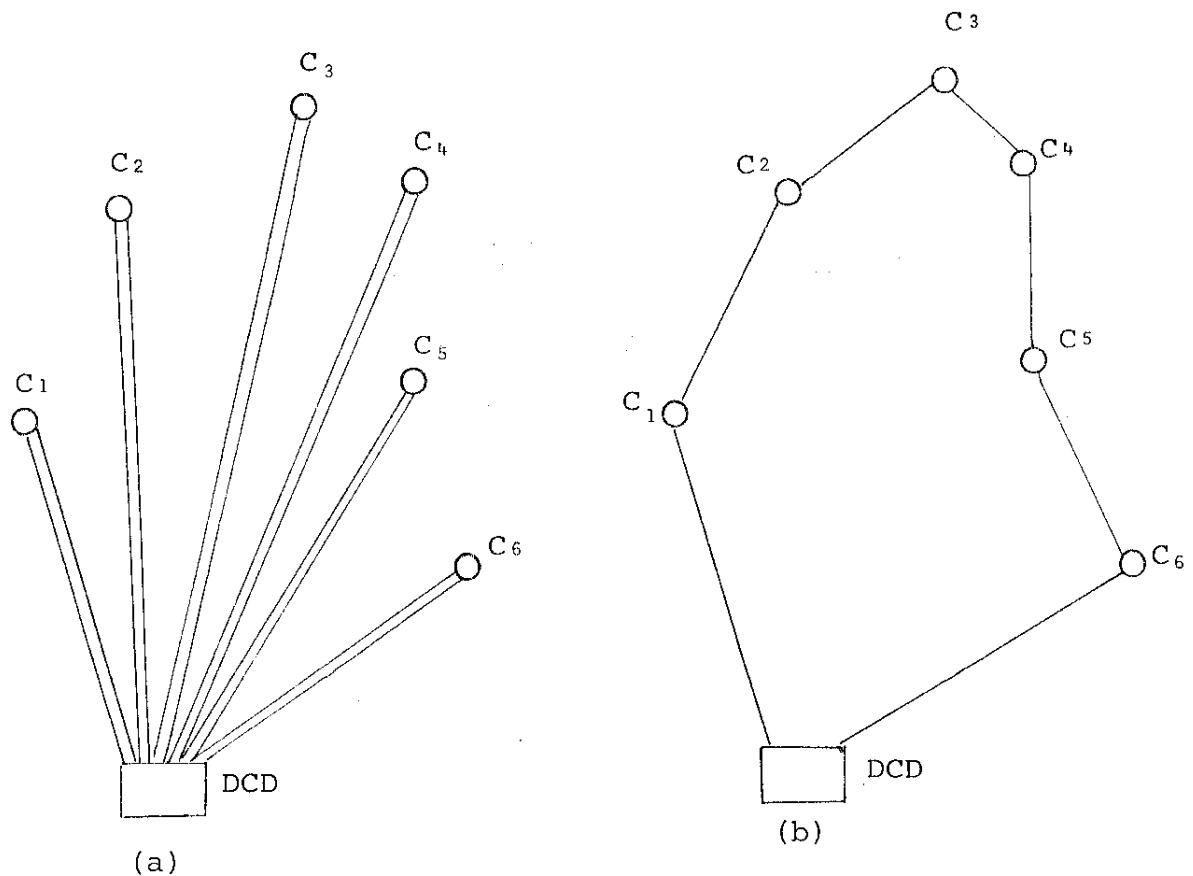


Figura 1 : Caracterização das distâncias consideradas nos estudos de localização de depósitos .

Nota-se que os métodos desenvolvidos por Newell¹ e outros 2,3,4 consideram a configuração mostrada na Figura 1(a) para mostrar o custo de transporte do sistema de distribuição. Nestes métodos os custos de transportes envolvidos na distribuição são superestimados resultando talvez em um maior número de depósitos de sistema de distribuição .

Para se considerar os efeitos do roteamento nos estudos de localização utilizou-se de teorias de programação de rotas para veículos, descritas no ítem 2.3 . Na Figura 2 apresenta-se as etapas seguidas na técnica proposta de localização de DCD .

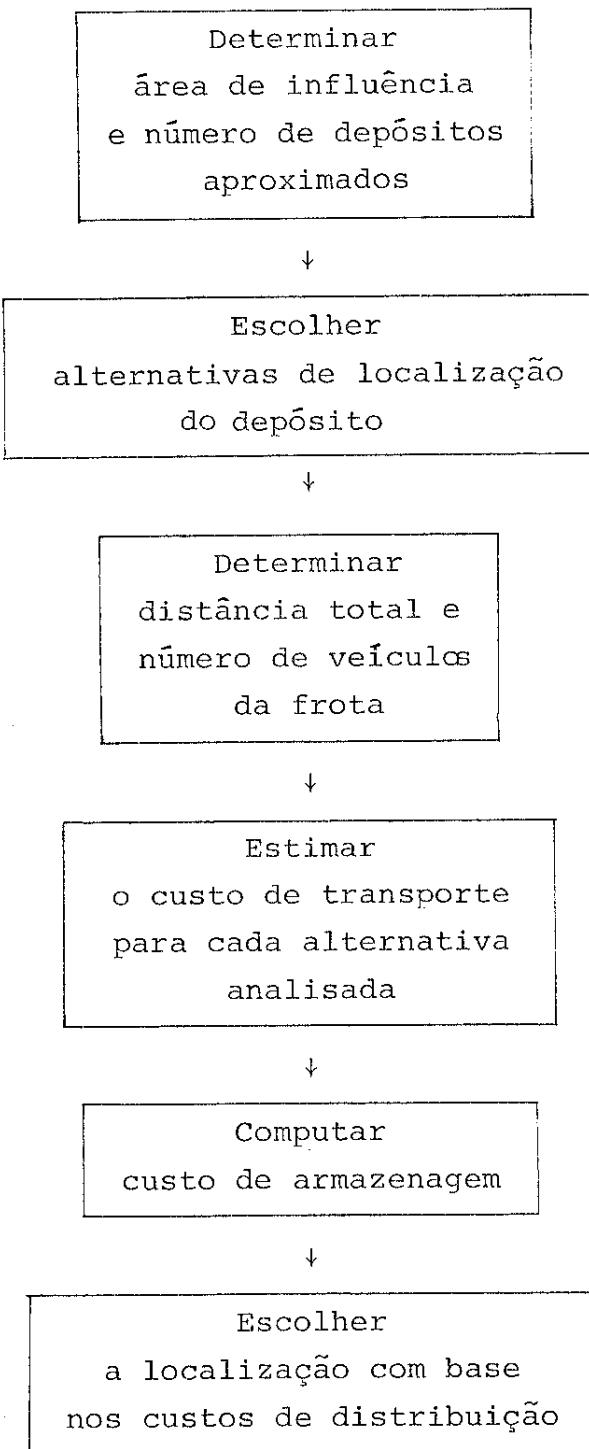


Figura 2 : Etapas da Técnica Proposta de Localização

2.2 - Determinação da Área de Influência e do Número Aproximado de Depósitos

Newell¹ discutiu o problema de localização de DCD minimizando a composição dos custos de transportes e armazenagem, para determinar a área de influência de depósitos em circunstâncias peculiares .

Para uma densidade de demanda uniforme em um espaço Euclidiano a localização ótima de depósitos é apresentada pela Figura 3 na qual cada depósito atende os clientes mais próximos dentro do quadrado de sua influência .

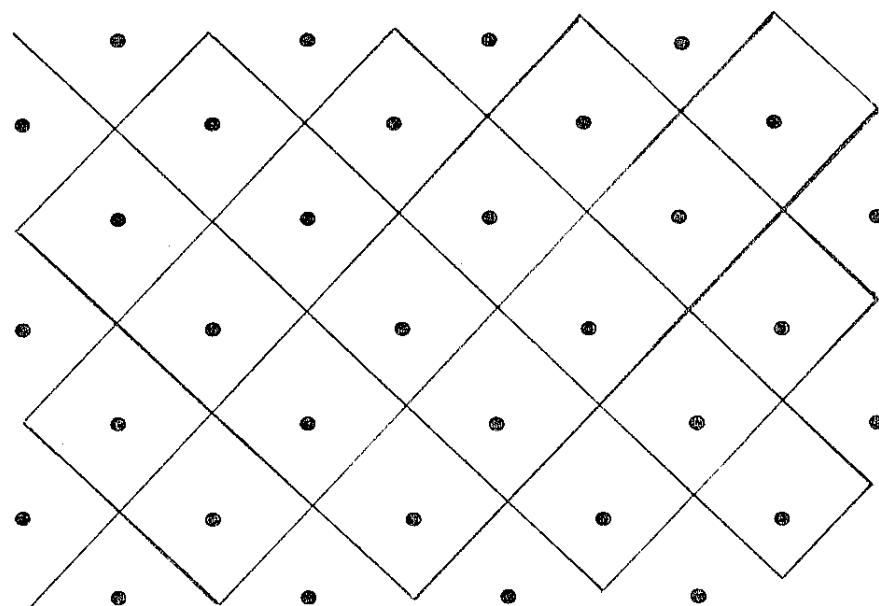


Figura 3 : Representação gráfica de uma rede quadrada das áreas de influências de depósitos

Na literatura da teoria de localização dá-se mais ênfase a dimensão geométrica da rede. Na verdade, os efeitos da geometria da rede são relativamente pequenos quando as áreas próximas supridas pelos depósitos não se tornam de grandes dimensões. Se um depósito abastece uma região com área A , a distância média das viagens para os pontos uniformemente distribuidos em A pode ser admitida como :

$0,376 A^{1/2}$ para uma região circular

$0,377 A^{1/2}$ para uma região hexagonal

$0,382 A^{1/2}$ para uma região quadrada

$0,403 A^{1/2}$ para uma região triangular

A configuração ideal da região de influência de um depósito em uma malha Euclidiana é a circular. No entanto, os círculos não cobrem toda a malha sem se sobrepor. A configuração mais próxima é a representada por hexágonos regulares que aumenta apenas 0,3% as distâncias das viagens internas. Nas regiões quadradas há um aumento na distância média das viagens de menos de 2%. Segundo Newell¹ esta distorção não é muito significativa para os estudos de determinação do número de depósito aproximado e sua área de influência (localização aproximada) .

Para a malha quadrada a distância média de viagens

está em torno de $0,453 A^{1/2}$, Figura 3. O custo mais alto da distribuição é originado pelas maiores distâncias que a malha quadrada oferece, mas não pelo aspecto da região estudada. Em redes rodoviárias que interligam muitas cidades ou redes de países desenvolvidos, a distância média entre dois pontos é geralmente em torno de 25% maior que a distância Euclidiana (distância em linha reta entre dois pontos). Este valor é aproximadamente igual quando tratamos com malha quadradas .

Com respeito a demanda ρ , será admitida como sendo a demanda por unidade de área por unidade de tempo .

Se os depósitos têm um custo de armazenagem dependente da sua capacidade, isto é, a demanda total ρA , então o custo de armazenagem mais o custo de transportes por unidade de demanda, tem a seguinte forma :

$$C(\rho A) / (\rho A) + K A^{1/2} \cdot \gamma \quad (1)$$

onde :

$C(\rho A)$ - custo de armazenagem por unidade de tempo

K - fator geométrico característico da rede -
 $(\approx 0,4)$

γ - custo de transporte por quilometro por unidade de mercadoria transportada

Desta forma pode-se obter uma área ótima \underline{A} de influência do depósito para a rede geométrica associada (K) se por exemplo, seu custo de armazenagem é uma função linear da capacidade,

$$C(\rho A) = (\mu + \alpha \rho A) \quad (2)$$

onde μ e α são constantes, então a área ótima \underline{A} é obtida derivando a expressão (1) em relação a \underline{A} e igualando a zero,

$$A_0 = \left(\frac{2\mu}{K\rho\gamma} \right)^{2/3} \quad (3)$$

e o custo mínimo por unidade demandada é

$$3K^{2/3} \cdot \mu^{1/3} \cdot \rho^{-1/3} \cdot 2^{-2/3} \cdot \gamma^{2/3} \quad (4)$$

É importante ressaltar que a concepção básica deste estudo é para obter um custo mínimo aproximado do sistema de distribuição, não se preocupando com uma aproximação precisa da configuração geométrica da rede que forneça o menor custo.

No ponto mínimo da função em estudo, o custo assume um valor estacionário em relação a pequenas mudanças nos parâmetros otimizados. Assim o custo da distribuição não é sensível a pequenas variações de \underline{A} ou pequenas mudan-

ças na configuração geométrica da rede. Esta é a razão pela qual o custo em função do valor de K em (4) não é muito sensível a mudanças de uma configuração hexagonal para uma malha quadrada ou outras formas aproximadamente regulares.

As soluções dadas aos problemas idealizados podem não ter uma aplicação prática, exceto quando venham a ser aplicadas para obter os custos mínimos aproximados, associados às localizações $(x_j; y_j)$ de depósitos de uma região de tamanho finito, sobre a qual a demanda pontual $\rho(x, y)$ num plano bi-dimensional é aproximadamente constante.

Se, um caso especial, $\rho(x, y)$ varia bastante entre pontos mais distantes, mas é aproximadamente constante. Sobre regiões de mesma ordem de grandeza de (ou maior comparando com) A pode-se esperar que o custo mínimo global aproximado será atingido procurando-se o custo mínimo aproximado por unidade de área (ou por unidade de demanda) em qualquer ponto (x, y) , isto é, distribuído os depósitos de tal maneira que nas proximidades (x, y) , cada depósito serve uma área de tamanho aproximado, dada por (3) com o valor de escolhido para ser o $\rho(x, y)$ daquela localização.

Como o custo por área unitária não é muito sensível

a pequenas variações na forma de tamanho das regiões (configuração de área de influência) do local ótimo determinado, é fácil criar métodos que dêem aproximadamente as áreas certas com a forma geométrica ótima aproximada. No entanto é difícil determinar a melhor configuração destas formas. Quando o interesse do estudo é encontrar a área ótima de influência do depósito e sua localização, tais aproximações das redes não interferem de maneira significante na solução encontrada .

Cada ponto de plano (x,y) recebe carga do depósito mais próximo, formando regiões A_j , que serão automaticamente determinadas para dar o mínimo custo de transporte em relação as localizações do depósito (x_j, y_j) . Além disso para qualquer espaçamento razoavelmente regular dos depósitos as regiões A_j encontradas terão formas aproximadamente regulares, com os depósitos localizados no seu centro .

Uma maneira analógica para localizar os depósitos seria fazer discos circulares de vários tamanhos com um material maleável colocando-os nas proximidades de qualquer local (x,y) no modelo da cidade em estudo, forçando a preencher todo o espaço da área estudada aproximadamente. Em seguida escolher o (x_j, y_j) como centro do disco, alomando os pontos (x,y) mais próximos do depósito para obter o A_j .

Quanto a determinação do número aproximado de depósitos para o atendimento da demanda de uma região estudada , compara-se a área desta região com a área ótima aproximada da influência de um depósito, dada pela expressão (3) , obtendo-se geralmente um valor fracionário que servirá como indicador do número de depósito a ser analizados ,tomando-se os dois números inteiros imediatamente superior e inferior ao valor fracionário do indicador .

O estudo desenvolvido por Newell¹ é utilizado no modelo de localização de DCD em áreas urbanas para determinar o número e a área de influência dos depósitos. Na prática podem ocorrer configurações no sistema de distribuição que ao serem estudados através do método de Newell devem ser tratados como casos particulares .

Ao se analisar uma área A_o , dada pela expressão (3) , a localização do depósito será deslocada do ponto ótimo aproximado, na direção da fábrica , por influência do custo de transporte entre o depósito e a fábrica .

Por outro lado ao se estudar um sistema onde a área analizada contem o depósito da própria fábrica ou outro já existente, deve-se determinar o número e a área ótima aproximada da influência dos depósitos , considerar este depósito como componente do futuro sistema de distribuição.

2.3 - Programação de Rotas para Veículos

A programação de rotas para veículos de distribuição (PRV) de mercadorias cuja origem seja um terminal, armazém ou depósito para abastecimento de um grupo de clientes ou consumidores finais, tem como objetivo gerar conjuntos de rotas otimizadas respeitando as restrições de capacidade de carga, autonomia dos veículos e "tempos em rota" de modo a minimizar as distâncias percorridas pelos veículos e custos da distribuição. Nos "tempos em rotas" estão incluídos os tempos de viagens, de carregamento e descarregamento, tanto no depósito como nos pontos de entrega.

Os métodos exatos garantem uma solução ótima para a PRV na ausência de erros de aproximação. Podem pesquisar esta solução no espaço de todas as soluções possíveis, o que torna exaustivo esta pesquisa ou restringir o espaço de soluções afastando da pesquisa subconjuntos conhecidos de não conter a solução ótima.

Estes métodos podem ser formulados usando as técnicas de programação dinâmica (algoritmo de Eilon e outros¹⁸) programação inteira (algoritmo de Garvin e outros¹⁹), os quais são de maior interesse teórico. Pode também ser formulado usando a técnica de "branch - and bound", desenvolvida por Christofides e Eilon⁹ que é entre os métodos exatos o que apresenta melhores resultados operacionais para

o uso de computador .

Os métodos heurísticos usados para estudos de PRV consistem na pesquisa de uma solução num espaço de soluções possíveis, obedecendo a critérios de escolha. A heurística ajuda a obtenção da solução pela renovação (remoção) de alguns procedimentos de "tentativa-e-erro" não garantindo a solução ótima.

Vários métodos foram desenvolvidos usando esta técnica matemática. O primeiro método foi formulado por Dantzig e Ramser⁸ em 1959 .

O procedimento mais usual no PRV, entre os métodos heurísticos são os baseados nos cálculos de "economias" (savings) que foi introduzido por Clarke e Wright¹⁰ em 1964 . Desde então , várias modificações do algoritmo inicial foram propostas, todas utilizando o conceito de economia introduzido pelos dois autores .

Os métodos exatos são inviáveis para resolver problemas de ordem prática, o que fica evidenciado pelo excessivo tempo de processamento e de memória de computador exigidos.

Os métodos heurísticos são os mais usados principalmente pela sua boa operacionalidade computacional e das

qualidades dos resultados obtidos.

A comparação da eficiência dos vários métodos existentes para estudos de PRV foi sempre uma preocupação dos pesquisadores envolvidos com o assunto. O trabalho mais sofisticado foi desenvolvido por Webb²⁰ na qual foi testado os algoritmos de Clarke e Wright¹⁰ (opções múltiplas e sequencial), Gaskell¹¹ (opções λ_{jk} e π_{jk}) e dois métodos simplificados pelo próprio Webb²⁰. As principais conclusões:

- (1) Os resultados produzidos pelo algoritmo de Clarke e Wright¹⁰ são em geral de melhor confiabilidade que os produzidos por qualquer outro algoritmo baseado no conceito de economia e percurso (entre os disponíveis quando seus trabalho foi escrito)
- (2) O algoritmo de Gaskell¹¹ (opções λ_{jk} e π_{jk}) que da enfase a distância entre pontos de entregas, não produz solução de melhor confiabilidade .
- (3) A performance dos diferentes algoritmos varia bastante com as condições do problema (dados e ou restrições consideradas). Em consequência as conclusões acima mencionadas devem ser aceitas com reservas .

Nos estudos desenvolvidos por Gillett e Miller¹², o algoritmo Swepp, se fundamenta no conceito de economia de percurso e pode-se notar (Quadro 08) em anexo , a eficiência do algoritmo de Clarke e Wright¹⁰ quando comparado ao 3-Otimal de Christifides e Eilon e ao algoritmo Swepp. Por isso utilizou-se no presente estudo o método de Clarke e Wright¹⁰ .

A idéia básica dos métodos heurísticos fundamentos no cálculo de "economias" é a seguinte:

Seja um depósito central supridor de n clientes. Suponhamos inicialmente que cada cliente é atendido de forma individual por um veículo de frota, Figura 4. A distância percorrida pelos veículos é dada por :

$$2 \sum_{i=1}^n d_{0i}$$

onde d_{0i} é a distância entre o depósito central D_0 e o cliente C_i . O número de veículo utilizado na frota é igual a n .

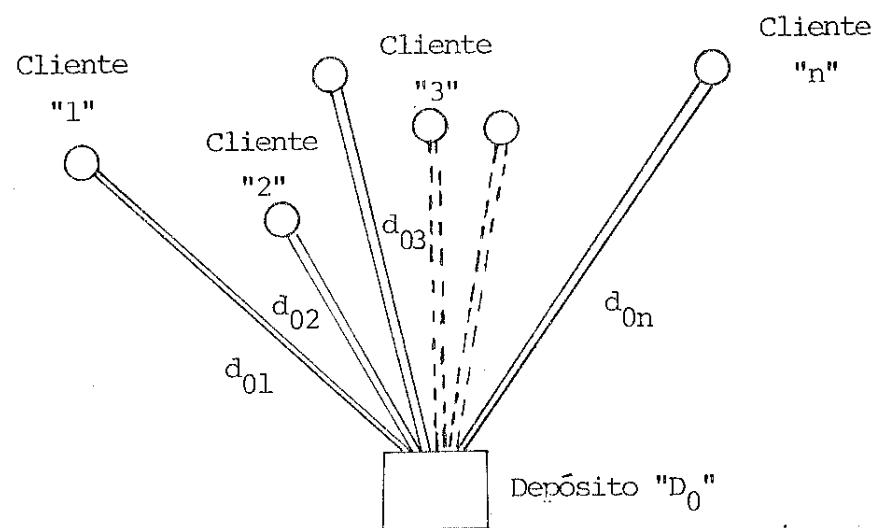


FIGURA 4 : Representação Gráfica das Viagens de atendimento individual dos clientes pelo Depósito

Supondo-se que seja possível atender dois clientes C_j e C_k em uma mesma viagem respeitando as restrições admittidas , Figura 5. Tal atendimento reduz a distância total percorrida anteriormente de :

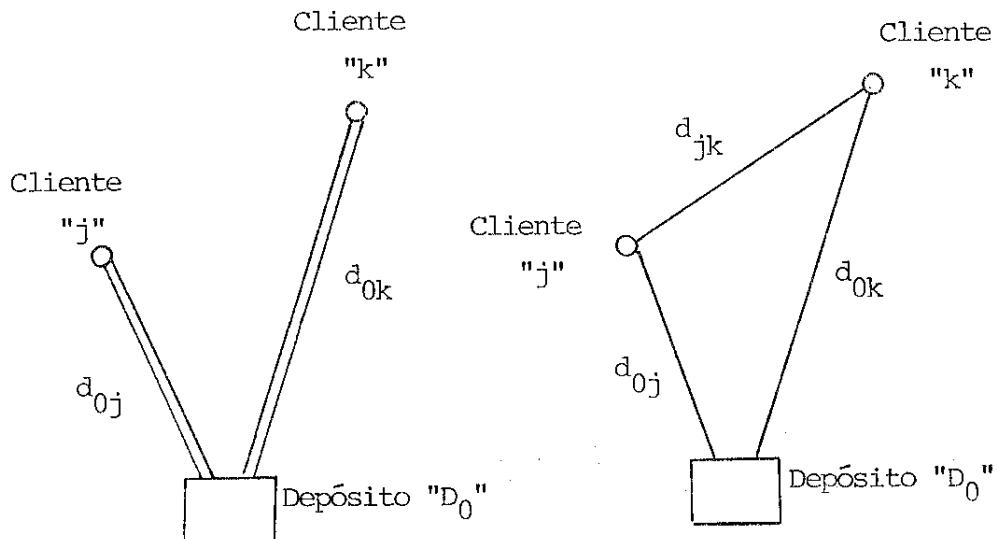


FIGURA 5 : Representação Gráfica da economia de percurso ao se alocar os clientes " C_j " e " C_k " em uma mesma viagem .

$$S_{kj} = d_{0,j} + d_{0,k} - d_{jk}$$

onde : d_{jk} é a distância entre os clientes C_j e C_k e $S_{j,k}$ é a economia de percurso obtida ao se alocar os clientes C_j e C_k em uma mesma rota, com o valor sempre positivo.

Quanto maior a economia de percurso mais desejável é a alocação dos dois clientes na rota . Os valores de $S_{j,k}$, são calculados para todos pares possíveis de clientes (j e k) ordenados em ordem decrescente. Iniciando do topo da lista de economiasos "arcos" (j,k) são, por tentativa adicionados à solução já existente, verificando-se se tal adição

não viola as restrições admitidas. O procedimento continua até que a lista dos S_{jk} seja esgotada. Então as rotas dos veículos são escolhidas e traduzem o menor percurso para atender todos os clientes.

O algoritmo de Clarke e Wright é apresentado em duas versões conhecidas na literatura técnica como opção múltipla e a opção sequencial. Na opção múltipla a lista de economia é examinada somente uma vez e ao examinar-se determinado arco for possível adicioná-lo a uma das extremidades de uma rota existente, ou combinar duas destas rotas, uma nova rota é iniciada. Na opção sequencial a lista é examinada várias vezes, sendo formada apenas uma rota a cada vez que a lista é examinada.

O algoritmo de Clarke e Wright apresenta uma desvantagem na determinação das rotas dos veículos. Uma vez escolhido um arco para inclusão na solução, o mesmo não pode ser mais substituído apesar de que sua escolha pode vir a impedir a escolha de outros arcos que, combinados, poderiam produzir uma melhor solução.

2.4 - Utilização da PRV em Estudos de Localização de Depósito

2.4.1 - Comentários Iniciais

Após a determinação do número e localização aproximada dos depósitos através da expressão (3), descrito no ítem 2.2 , analiza-se os locais potenciais de implantação ' do depósito ,aplica-se em seguida o algoritmo de programação de rotas para veículos (PRV) a cada um dos locais potenciais computando-se as distâncias percorridas pelos veículos bem como o número desses necessário a frota

No passo seguinte , de posse dos custos operacionais, das distâncias percorridas e do número de veículos estimase o custo anual de transporte para cada uma das alternativas analisadas, adicionando-se ao custo de armazenagem, escolhendo-se a alternativa que forneça o menor custo de distribuição.

O critério de comparação utilizado na tomada de decisão quanto ao melhor local para instalação do DCD, é fundamentado no custo de transporte envolvido em cada uma das alternativas de localização de DCD estudada. Leva-se em consideração também ,as parcelas correspondentes,ao custo de armazenagem, e aos custos de instalações do DCD, quando se fizer necessário .

2.4.2 - Informações Requeridas

O uso de algoritmo de programação de rotas ótimas

para veículos de distribuição de mercadorias em estudos de localização de DCD é proposto para "simular" os sistema de transporte da distribuição .

É necessário para tanto conhecer características do sistema de distribuição, tais como :

- localização da fábrica;
- localização dos pontos de entrega (clientes ou con-sumidores) ;
- quantidade demandada por ponto de entrega ;
- características dos veículos utilizados na distri-
buição (capacidade de carga e autonomia)
- características das redes viárias ; e
- características do sistema de armazenagem (opera-
ção),

e a localização dos lugares potenciais para instalação do DCD na área de interesse, bem como os custos envolvidos na sua implantação e operação. Vale ressaltar que em áreas urbanas a disponibilidade de terrenos adequados a implan-tação do DCD é bastante reduzida, em face do processo de ocupação do uso do solo, o que facilita a escolha das al-ternativas .

Além das características acima mencionadas é neces-sário conhecer parâmetros de operação no sistema de distri-

buição , tais como :

- tempo aproximado em que o veículo permanece parado para efetuar a entrega de uma unidade da mercadoria distribuída ;
- velocidade aproximado em que o veículo permanece no depósito para recarregamento .

Estes parâmetros devem ser coletados em pesquisas apropriadas em cada sistema de distribuição analisado.

De posse de todas as características de parâmetros do sistema, passa-se para a utilização do algoritmo matemático de programação de rotas para veículos (PRV) para estimar os custos de transportes da distribuição .

2.4.3 - Custo de Transportes

De posse dos resultados obtidos pelo uso do algoritmo de PRV quanto à distância total percorrida pelos veículos em uma jornada de trabalho e a quantidade dos mesmos necessária a frota , estima-se o custo de transporte da distribuição, baseando-se na metodologia que considera estes como proporcionais (Cr\$/ton. km ou Cr\$/Km) calculando os custos operacionais dos veículos em duas parcelas : a fixa e a variável.

A parcela fixa do custo operacional é composta dos seguintes elementos :

- depreciação
- remuneração de capital
- licenciamento
- seguro
- salários e encargos sociais do motorista

Na parcela variável do custo operacional do veículo, em função da distância percorrida tem-se os seguintes elementos :

- despesas de combustível
- despesas com óleo de carter, câmbio e diferencial
- despesas com peças e material de oficina
- despesa com pneus
- despesas com lavagem e lubrificação
- despesas com salários e encargos sociais do pessoal de oficina.

Para veículos urbanos, além do custo dos veículos em si , deve incluir também o pessoal de operação para as entregas e/ou coletas, o custo da hora parada e aumento dos custos variáveis devido as condições de tráfego .

Para o cálculo do custo variável anual de transporte

é necessário que seja pré-determinado o número de dias por ano de operação da distribuição. Em termos matemáticos esta parcela pode ser descrita :

$$C_{v_i} = n \cdot 12 \cdot x_i \cdot c_{vi}$$

onde

C_{v_i} - custo variável anual da frota de veículos do tipo 'i' (Cr\$/ano)

n - número de dias de trabalho por mês

x_i - distância total de área percorrida pela frota de veículos no tempo "i" (Km/dia)

c_{vi} - custo variável por quilômetro percorrido do veículo tipo "i" (Cr\$/Km)

A parcela de custo (que não depende de percurso total) relacionada com o número de veículos utilizados na frota de distribuição pode ser descrita como :

$$C_{f_i} = m_i \cdot 12 \cdot c_{fi}$$

onde

C_{f_i} - custo fixo anual da frota de veículos do tipo

"i" (Cr\$/ano)

m_i - número de veículos do tipo "i" utilizados pela frota de distribuição

c_{fi} - custo fixo mensal do veículo tipo "i" (Cr\$/mês)

2.4.4 - Custo de Armazenagem

Os custos de armazenagem devem ser estimados para cada configuração do sistema de distribuição e dependerão das características do produto ou grupo de produtos ou grupo de produto distribuidos .

Em geral esses custos incluem os custos de movimentação de materiais e os custos do depósito propriamente dito e são comumente classificados em duas categorias :

- custos diretos - comumente associados com a operação
- custos indiretos - associados aos investimentos

Os custos diretos da movimentação de materiais são divididos em custos fixos e variáveis, e, os custos indiretos em custos de equipamento/método e administração. Suas composições são mostradas no Quadro 1, conforme os estudos desenvolvidos por Moura¹⁷.

QUADRO 1 : Composição dos Custos de Movimentação de Materiais

Custo de Movimentação de Materiais	
Custos Diretos	Custos Indiretos
Custos Fixos	Equipamento/Método
Depreciação do equipamento	Espaço ocupado
Juros ou retorno sobre o capital empregado	Efeito dos impostos
Impostos sobre o equipamento	Efeito no valor do inventário
Seguros sobre o equipamento	Valor das peças reparos
Custo ou aluguel do espaço ocupado pelo equipamento	Custos de paradas nos transportes
Despesas gerais de supervisão direta	Despesas de paradas
Despesas gerais de administração	Mudança de taxas de produção
Despesas gerais de manutenção	
Amortização de patentes ou royalties	
Custos Variáveis	Administração
Custo de mão de obra direta inclusive encargos sociais	Despesas de viagens para investigações
Despesas com força e combustível	Custo de acompanhamento
Despesas com lubrificantes	Custo de rearranjo
Custos de mão de obra de manutenção	Treinamento de pessoal
Custos de peças sobressalentes e material de reparo	Horas extras requeridas para recuperar a produção
Custos de suprimentos diversos	Volume de trabalho em processo
	Despesas de operação depois da depreciação

Fonte : Moura¹⁷, Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais. IMAM .

Os custos diretos do depósitos incluem os custos da mão de obra, ou seja, salários-pagos ao pessoal do depósito (almoxarife, estoquistas, kardexistas, carregadores e outros elementos que trabalham nessa seção) e os custos dos encargos sociais .

Os custos indiretos do depósito incidem sobre a área do depósito em si, incluindo sua construção, os encargos (Imposto Predial e taxas), depreciação sobre instalação, seguros contra riscos, despesas administrativas e juros sobre o estoque .

Os custos de construção podem ser calculados como custo de oportunidade de capital a juros de 18% ao ano e considerando uma vida útil de 20 anos. A depreciação sobre instalação calcula-se considerando também uma vida útil de 20 anos e com valor residual de 5% a 10% do valor inicial .

CAPÍTULO III

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O problema abordado neste exemplo de aplicação é de natureza teórica tentando-se no entanto torná-lo o mais prático possível dentro das características das distribuição de produtos de grande consumo em áreas urbanas .

3.1 - Caracterização do Problema

Neste exemplo de aplicação aborda-se um sistema de distribuição de refrigerantes, admitido operando na cidade do Rio de Janeiro e atendendo o abastecimento da zona sul abrangendo os bairros de Botafogo, Urca, Leme, Copacabana, Ipanema, Leblon, Gávea, São Conrado e parte da Barra da Tijuca .

Por hipótese a fábrica de refrigerantes se localiza no bairro de Bonsucesso de onde atualmente têm origem as viagens de entrega .

A demanda total da área de estudo correspondente a 406 clientes, é de 9520 caixas de refrigerantes por dia . A frequência de visita aos clientes foi considerada diária .

3.2 - Dados de Demanda do Produto

Os dados relativos à quantidade demandada por ponto de entrega (clientes) foram gerados aleatoriamente obedecendo a uma distribuição de frequência normal Figura 6 , sendo a unidade de entrega correspondente a uma caixa de refrigerantes contendo 24 garrafas .

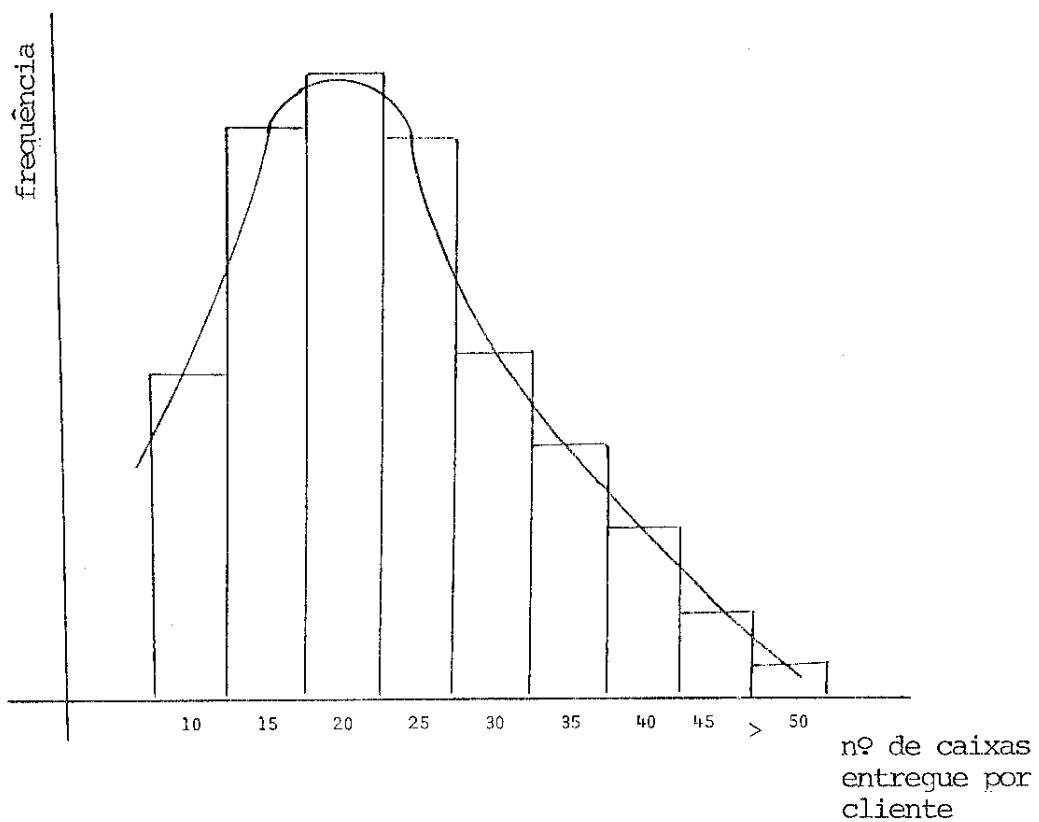


Figura 6 : Curva de distribuição de frequência normal considerado para representar a quantidade do produto demandado por cliente .

3.3 - Características Operacionais dos Veículos

As características operacionais dos veículos envolvidos na distribuição são descritas no Quadro 2, sendo seus custos calculados segundo a revista "Transportes Moderno", nº195 de maio de 1980. Algumas ajustes foram necessários para tornar esses custos mais representativos dos veículos de distribuição em áreas urbanas. Foi acrescentado na parcela do custo fixo, do caminhão C-60 (Tráfego urbano) um adicional correspondente ao salário e obrigações sociais de dois ajustes (salário Cr\$7.071,00). Nos custos do L-1313 considerou-se o salário do motorista de Cr\$14.142,00 mais as obrigações sociais e um aumento de 10% do custo variável correspondente ao aumento devido às condições de tráfego urbano.

QUADRO 2 : Características dos Veículos Utilizados na Distribuição

Tipo	Características		Custo Operacional (**)	
	Carroceria	Capacidade (*)	Fixo Cr\$/mês	Variável Cr\$/km
C-60	aberta (tráfego urbano)	320	59129,19	18,7563
L-1313	tracionando carreta	800	59726,20	10,5029

(*) a capacidade é estabelecida em relação a caixa de refrigerantes contendo 24 garrafas .

(**) Maio/80, Revista : Transporte Moderno .

3.4 - Determinação da Área de Influência e do Número Aproximado dos Depósitos

Conhecendo-se as características da demanda, que é admitida uniformemente distribuída na área de estudo, $\rho = 112$ caixas/dia, custo diário de armazenagem para a implantação de um depósito $\mu = Cr\$29.167,00$ (quadro 3, custo de implantação de um depósito) e custo estimado de transporte, $Cr\$0,1814/km \times$ caixa, determina-se através de expressão (3) a área ótima de influência.

$$A_0 = \left[\frac{2 \times 29.167,00}{0,4 \times 112 \times 0,1814} \right]^{2/3} = 372 \text{ km}^2$$

Neste exemplo de aplicação se está analisando uma área relativamente pequena, estando a fábrica localizada fora desta área não se deve levar em consideração o depósito da fábrica como parte de novo sistema de distribuição na área analisada.

Comparando-se a área analisada (85 km^2) com a área ótima "A₀" calculada, obtém-se um valor aproximado de 0,23. Tal ocorrência sugere que seja estudada duas situações para o sistema de distribuição: uma admitindo a não resistência do depósito na área analisada sendo que o depósito da própria fábrica suprirá toda a demanda e outra admitindo a implantação de um depósito dentro da

área em estudo .

3.5 - Alternativas de Localização Admitidas

Baseando-se nas informações adquiridas no ítem anterior, quanto ao número de depósito e na disponibilidade de locais potenciais para a instalação do mesmo, admitiu-se quatro alternativas a serem assinaladas através do PRV.

(A) O sistema de distribuição com o depósito localizado na própria fábrica e sendo o transporte efetuado por caminhões de médio porte, C-60;

(sistema sem o DCD)

(B-1) O sistema de distribuição utilizando um depósito central localizado no bairro de Botafogo sendo o transporte entre a fábrica e o depósito por veículos de grande porte L-1313 e a distribuição de depósito aos clientes por caminhões C-60 .

(B-2) Mesma configuração do sistema de distribuição para a situação B, sendo o depósito localizado no bairro de Jardim Botânico.

(B-3) Mesma configuração do sistema de distribuição para as situações B e C, sendo o depósito localizado no bairro da Gávea.

3.6 - Custo de Armazenagem do Sistema de Distribuição

O custo de construção do depósito foram estimados em Cr\$15.000.000,00 admitindo uma vida útil para o depósito de 20 anos para as instalações do sistema atual foi estimado um custo de Cr\$12.000.000,00 admitindo uma vida útil de 10 anos. A taxa de juros foi considerada 15% ao ano .

Os custos anuais de armazenagem do sistema de distribuição foram estimadas em Cr\$5.290.000,00 para a alternativa A, onde o depósito de fábrica abastesse a área de estudo e Cr\$10.490.000,00 para as alternativas B-1, B-2 e B-3 correspondente a implantação de um depósito na área de estudo, considerando-se um custo anual de aluguel no terreno para as três alternativas (B-1, B-2 e B-3) igual a Cr\$.. 2.100.000,00 . No Quadro 3 é mostrado a composição dos custos de armazenagem de distribuição envolvidos nas configurações do sistema analisadas. Deve-se salientar que um levantamento mais detalhado destes custos não seriam compatível com o nível do presente trabalho já que o número de fatores interveniente tornaria uma tarefa mais adequada a estudos específicos de armazenagem .

QUADRO 3 : Custo anual de armazenagem estimado

Alternativa	Custo Anual de Armazenagem	
	Especificações	Cr\$ / ano
Uma empilhadeira		600.000,00
Mão de obra do depósito + encargos		
sociais		2.190.000,00
Depreciações das Instalações		1.650.000,00
Manutenção do depósito		850.000,00
Total		5.290.000,00
Duas empilhadeiras		1.200.000,00
Mão de obra de depósito + encargos		
sociais		2.590.000,00
Construção (15% ao ano)		2.400.000,00
Depreciação das instalações		
(5% ao ano)		1.200.000,00
Manutenção de depósito		1.000.000,00
Aluguel		2.100.000,00
Total		10.490.000,00

Janeiro/81

3.7 - Características de Operação do Sistema de Distribuição

Para o sistema de distribuição em estudo a jornada diária de trabalho tem início às 6h.30min e término às 19h.30min compreendendo um total de treze horas diárias , incluindo a hora de descanso para o almoço. Os veículos do tipo C-60 só operam onze horas e trinta minutos por dia .

O tempo de parada por cliente foi admitido como obedecendo a seguinte expressão :

$$T_C = 7 + 0,15 \cdot W_C \quad (9)$$

onde

T_C - tempo de parada por cliente em minutos

W_C - quantidade do produto distribuído por cliente.
(caixa de 24 garrafas)

A velocidade média de operação dos veículos foi admitida de 25 km/hora

O tempo de parada no depósito central para o re-

carregamento dos veículos foi admitido como obedecendo a seguinte expressão :

$$T_d = 15 + 0,05 \cdot W_d \quad (10)$$

onde

- T_d - tempo de parada no depósito em minutos
- W_d - quantidade do produto recarregado no veículo
(caixa de 24 garrafas)

3.8 - Utilização do VSPX - Vehicle Scheduling Program Extended .

Para o estudo de localização de depósitos em áreas urbanas como a utilização de algoritmos matemáticos de PRV, usou-se o Vehicle Scheduling Program Extended - VSPX-IBM . Este programa é descrito no Apêndice A, e se baseia no cálculo das economias de percursos introduzida por Clarke e Wright¹⁰ ver Capítulo II item 2.3 .

O programa é operado em duas etapas; a análise de rede e a que estabelece as rotas para os veículos. Na etapa de análise da rede pode-se utilizar dois métodos de operar

o programa; o das distâncias exatas e o das coordenadas.

No exemplo de aplicação optou-se pelo método das coordenadas por ser de mais rápido utilização sem requerer uma análise mais detalhada da rede viária .

As zonas de entrega foram localizadas na área de estudo através das coordenadas cartesianas (x,y) Quadro 11, em anexo com o centro do sistema referencial localizado no Recreio dos Bandeirantes, como é mostrado na Figura 7.

Os dados do sistema de distribuição em estudo são :

- localização da fábrica e dos locais potenciais para instalação do depósito Quadro 5.
- localização das zonas de entrega Quadro 11,12 (em anexo)
- localização das "barreiras" (rios, vales, montanhas etc) e seus pontos de transposição (pontes , viadutos e túneis) Figura 7 e Quadro 10 (em anexo)
- determinação das áreas de congestionamento, através de localização do centro de um circulo, seu raio e a velocidade estimada de operação dos veículos no seu interior, Figura 7 e Quadro 10 (em anexo)

- velocidade média de operação dos veículos - 25km/h
- fator de reajuste das distâncias, que depende das características da rede viária - 1,27 (rede quadrangular - Quadro 10)

De posse desses dados são calculados as " economias de percurso " que serão usadas na etapa do programa para estabelecer as rotas dos veículos de distribuição de mercadorias .

QUADRO 4 : Localização das alternativas analizadas

Alternativas	Localização	
	Bairro	Coord. cartesianas (km)
A	Bonsucesso	x = 18,2 ; y = 20,6
B-1	Botafogo	x = 27,5 ; y = 8,2
B-2	Jardim Botânico	x = 24,4 ; y = 7,0
B-3	Gávea	x = 21,4 ; y = 4,8

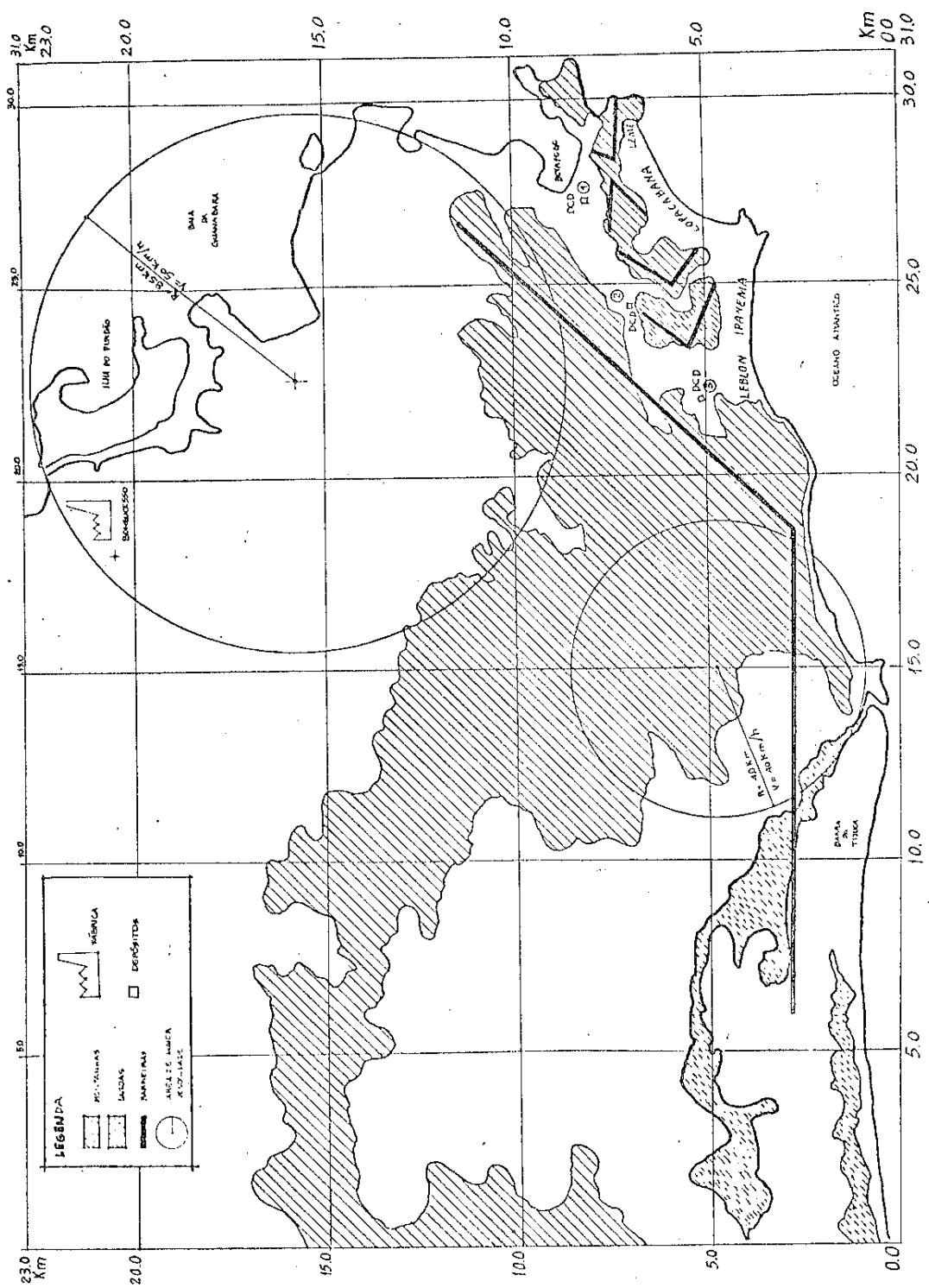


Figura 7 : Características da área de estudo

Na etapa do programa que estabelece as rotas dos veículos são necessários as seguintes informações sobre o sistema de distribuição em estudo .

- dados das demandas das quantidades do produto por ponto de entrega. Quadros 13, 14, 15 e 16 (em anexo) .

- características dos veículos (capacidade de carga)

Quadro 2 .

- características de operação do sistema de distribuição, Quadro 17 e 18 (em anexo) .

As zonas de entrega podem conter mais de um cliente a ser abastecido. Neste caso o tempo de parada e a distância percorrida pelo veículo devem ser acrescidos de valores médios de tempo e de distância, correspondente ao deslocamento do veículo dentro da zona .

Os dados de saída além de descrever as rotas ótimas e um breve sumário de cada uma delas, apresenta o sumário de utilização da frota onde estão incluídas informações sobre o número de veículos necessários e a quilometragem total percorrida pela frota. No presente exemplo de aplicação, para as alternativas (B-1), (B-2) e (B-3), utilizou -

se o programa duas vezes para cada uma delas, afim de simular a movimentação dos dois tipos de veículos envolvidos na distribuição. Quadros 19, 20, 21 e 22 (em anexo)

Com os resultados obtidos no programa (Quadro 5) estimase o custo anual de transporte através das equações, para as quatro alternativas de localização analisadas. Esses custos são apresentados no Quadro 5.

QUADRO 5 : Utilização da Frota de Veículos para as Alternativas Analisadas . (dados de saída do VSPX) .

Alternativas	Veículo nº 1 (320)*		Veículo nº 2 (800)*	
	Quant.	Km/dia(**)	Quant.	Km/dia(**)
A	15	1732,3	-	-
B-1	11	668,5	4	478,8
B-2	10	587,3	4	520,8
B-3	11	652,3	4	627,6

(*) Capacidade de carga em caixa de refrigerantes

(**) Quilometros / dia percorridos por todos os veículos

3.9 - Análise dos Resultados

Após a aplicação do procedimento descrito nos íntens anteriores, sobre a técnica de utilizar-se algoritmos matemáticos de programação de rotas para veículos de distribuição, em estudos de localização de depósitos centrais em áreas urbanas, pode-se verificar que tal procedimento conduziu a resultados satisfatórios.

O custo de transporte do sistema de distribuição em estudo pode ser estimado de uma maneira bastante realista o que facilita a comparação das alternativas assumidas quanto a localização de depósito.

Pode-se constatar que a localização do depósito central de distribuição (DCD), na zona sul da cidade do Rio de Janeiro que resultou na melhor composição dos custos de distribuição foi a alternativa que considerou o depósito instalado no bairro de Jardim Botânico. Tal localização proporcionou uma redução dos custos anuais de transporte de ordem de 28% enquanto que os depósitos localizados na Gávea e Botafogo em redução de 20% e 22% respectivamente.

Esta redução no custo de transporte foi resultante da racionalização do sistema de transporte quando utiliza-

se veículos de maior capacidade (800 unidades do produto L-1313) para o transporte do produto entre a fábrica e depósito. Os custos fixos não sofreram uma redução significativa, entretanto, os custos variáveis apresentaram um redução de 50%, 46% e 42% para o depósito localizado no bairro de Jardim Botânico, Botafogo e Gávea respectivamente. (Quadro 6).

Os custos de armazenagem foram estimados iguais para os três depósitos em estudo, como também, os custos de aluguel do terreno. Tais considerações principalmente no que se refere aos custos de aluguel do terreno, podem na prática ser considerada de maneira diferente, tendo em vista as variações do "valor do terreno" em diferentes bairros, o que pode ser um fator decisivo de escolha quando houver locais potenciais para instalação ao depósito.

Quanto os valores obtidos para o custo da distribuição esses podem ser considerados como representativos para o sistema analisado (406 clientes), tendo em vista que tais composições seriam apenas para mostrar a aplicabilidade da técnica.

Entretanto, em estudos práticos os custos de armazenagem e as características da operação do sistema de distribuição devem ser levantados de maneira realista.

QUADRO 6 : Composição do Custo Anual de Transporte

Custos	Alternativas		B - 1		B - 2		B - 3	
	Véiculo	A						
Custo Fixo	1 (320)*	10.643.254,00	7.805.053,00	7.095.503,00	7.805.053,00	7.805.053,00		
	2 (800)*		2.866.857,00	2.866.857,00	2.866.857,00	2.866.857,00		
Sub total		10.643.254,00	10.671.910,00	9.962.360,00	10.671.910,00	10.671.910,00		
Custo Variável	1 (320)*	10.137.360,00	3.912.039,00	3.436.859,00	3.817.237,00			
	2 (800)*		1.568.982,00	1.706.612,00	2.056.858,00			
Sub total		10.137.360,00	5.481.021,00	5.143.471,00	5.873.822,00			
Total		20.780.614,00	16.152.931,00	15.105.831,00	16.545.732,00			

Mai/80

(*) Capacidade de carga (caixas de refrigerantes)

QUADRO 7 : Custo Anual de Distribuição

Alternativa	Custo Anual de Distribuição		Total Cr\$/ano
	Custo de Transporte *	Custo de Armazenagem	
A	31.378.726,00	5.290.000,00	36.668.726,00
B - 1	24.396.965,00	10.490.000,00	34.886.965,00
B - 2	22.809.804,00	10.490.000,00	33.299.804,00
B - 3	24.984.055,00	10.490.000,00	35.474.055,00

(*) Valor corrigido para Janeiro de 1981 por análise de tendências sobre os dados publicados na revista C.E. da Fundação Getúlio Vargas, outubro/80

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Aplicou-se no presente trabalho, técnicas utilizadas tradicionalmente em estudos de otimização de rotas de veículos de distribuição de mercadorias (PRV) aliadas a informações obtidas, através de um modelo matemático , quando ao número de depósito de um sistema de distribuição, para determinar a localização de depósitos .

A técnica proposta é um complemento aos métodos usuais nos estudos dessa natureza. A utilização conjunta dos dois métodos distintos (um modelo matemático de localização e o método de programação de rotas para veículos, PRV) fornece parâmetros precisos e confiáveis para auxílio na tomada de decisão quanto a determinação número e a localização de depósitos, porque os custos de transporte são estimados de maneira bastante realista, ou seja, quanto as distâncias percorridas pelos veículos e o número necessário a frota.

Através de um exemplo de aplicação teórica, mas utilizando-se dados estimados que se aproximam de uma si

tuação real , pode-se constatar a operacionalidade da técnica proposta e da utilidade dos resultados obtidos.

A proposta aqui contida é de interesse: da iniciativa privada , e mais especificamente, no setor de distribuição física de produtos de grandes consumo em áreas urbanas, onde a técnica se apresenta como um instrumento útil , pois a partir de informações sobre o sistema de distribuição, estuda e analisa os parâmetros que caracterizam a melhor configuração de localização de DCD, orientando para obtenção de menor custo total da distribuição e de empresas públicas de prestação de serviço, como por exemplo as que coletam o lixo residencial para as quais a técnica apresentada pode, com algumas modificações nas quantidades demandadas por ponto de parada , ser utilizada para estudos de localização de depósitos centrais de transferência.

O programa de computador utilizado ,VSPX , descrito no apêndice A , oferece maiores recursos além dos que foram utilizados no exemplo de aplicação para demonstrar operacionalidade da técnica. A frota de veículos pode ser composta de até 255 tipos de veículos e a distribuição pode ser feita com até 15 produtos diferentes por um mesmo veículo. No entanto tais características na distribuição não afetam significativamente na localização do depósito pois mudanças pequenas no custo de transporte não resultariam em grandes modificações na localização.

Seguindo a mesma linha de pesquisa sugere-se que seja desenvolvido futuramente os seguintes estudos :

- . Estudos de localização de DCD, utilizando algoritmos de PRY para otimizar um sistema de distribuição com multi origem depósito e multi destinos (clientes) simultaneamente .
- . Estudos de otimização do roteamento de veículos de distribuição através de modelos matemáticos e utilização conjunta com modelos de localização semelhante ao de Newell¹
- . Estudo de simulação das consequências de medidas operacionais do sistema de distribuição noturna , usando PRV , em relação a custo e eficiência da distribuição .

APÊNDICE A

PROGRAMAÇÃO DE COMPUTAÇÃO UTILIZADO

O Vehicle Scheduling Program Extended, VSPX-IBM é descrito em linguagem assembler e PL/I, exigindo um computador de 20k de memória (quando processado pelo sistema operacional DOS) ou 60k (se o processamento for pelo sistema OS), equipado com leitora e impressora .

O programa é operado basicamente em duas fases Figura 8) que podem ser executadas de maneira independente uma da outra : Programa de Análise da Rede e Programa para Estabelecer as Rotas .

- Programa de Análise da Rede -

Esta fase do programa classifica em ordem decrescente as economias de percurso entre pares de pontos usando o conceito desenvolvido por Clarke e Wright¹⁰ (Ver Capítulo II).

O programa de análise da rede pode ser operado de duas maneiras : método das distâncias exatas e método das coordenadas .

O método das distâncias exatas é mais preciso pois trabalha-se com as distâncias reais dos mapas ou estradas da rede viária em estudo. Inicialmente a área de estudo é dividida em zonas de entrega de tamanho conveniente, cada uma contendo no máximo 255 clientes. É então descrita a rede viária de ligação entre estas zonas, traçando-se os link e nos necessários, baseando-se na rede existente, podendo-se ainda fornecer como parâmetro de análise a velocidade de operação dos veículos em cada link. Com eses "inputs" são calculadas as distâncias mínimas entre o depósito e as zonas bem como de todas as zonas entre si, calculando-se em seguida as economias de percurso a serem utilizadas no programa para estabelecer as rotas .

O método das coordenadas utiliza um sistema referencial (coordenadas cartesianas) que indica não só a localização das zonas de entrega (clientes ou consumidores finais) e o depósito, como também descreve as barreiras naturais (rios, vales, montanhas, etc.) ou os locais onde pode-se cruzá-los (viadutos, pontes e túneis) .

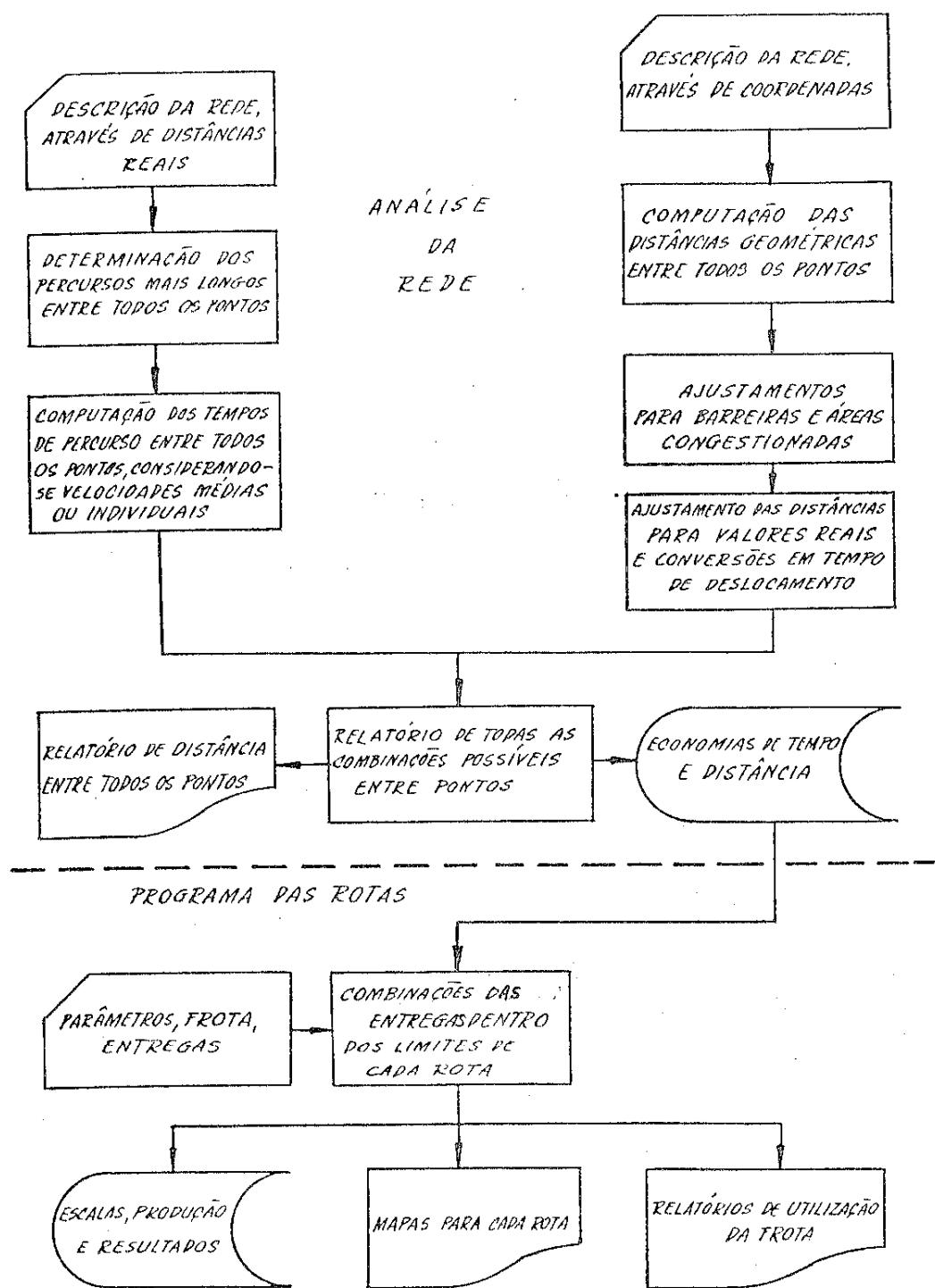


Figura 8 : Fases de Operação do Vehicle Scheduling Program Extended, VSPX - IBM

Utiliza também para facilitar a representação do fluxo de tráfego, áreas de congestionamento que são indicadas por círculos onde se fornece as coordenadas do seu centro, seu raio e a velocidade de operação do veículo no seu interior.

A distância real entre zonas é calculada por ajustamento das distâncias em linha reta. O coeficiente de ajuste é escolhido em função das características da rede viária.

Estes coeficientes de ajustes foram definidos por Newell²³ e são descritos no Quadro 8.

QUADRO 8 : Coeficiente de ajuste das distâncias Euclidianas em Função da rede viária .

Traçado da Rede Viária	Coeficiente
Quadrangular	1,27
Triangular	1,15
Circular	1,47

- Programa para Estabelecer Rotas -

Esta fase do programa utiliza-se dos arquivos de economias de percurso e de informações adicionais tais como :

- . tempo máximo de viagem para toda a frota ou para cada veículo ;
- . número máximo de entregas a clientes para cada itinerário ;
- . tempo médio de carga e descarga para todas as entregas;
- . demanda do produto por ponto de entrega;
- . viagens múltiplas durante um período (até três por veículo) e os tempos de recarga;
- . tempos adicionais de espera na fila do depósito ;
- . tempo de itinerário entre o primeiro e último cliente, além da indicação prévia da primeira ou última entrega do itinerário.
- . tempo de viagem e quilometragem média entre clientes pertencentes a uma mesma zona .
- . restrições quanto ao horário de entrega para cada cliente (estacionamento proibido, carga e descarga noturna, lei do baru

lho, horário de almoço) ;

- . tempo médio consumido nas paradas, além do intervalo normal de carga e descarga (estacionamento, espera na fila, despachos de papeladas) ;
- . tempo especial de parada para clientes específicos (acesso difícil, pedido que requerem entrega e cobrança); e
- . veículos especiais para condições de tráfego particulares (capacidade do veículo, acesso difícil) .

Os dados de saída, mostram o sumário de cada rota estabelecida e um sumário geral de utilização da frota.

APÊNDICE B

CÁLCULO DO CUSTO ANUAL DE TRANSPORTE

. HIPÓTESE A

Custo Variável

1732,3.26.12.18,7563 = Cr\$10.137.360,00

Custo Fixo

15.12.59129,19 = Cr\$10.643.254,00

Total ----- Cr\$20.780.614,00

. HIPÓTESE B

Custo Variável

663,5.26.12.18,7563 = Cr\$ 3.912.039,00

478,3.26.12.10,5029 = Cr\$ 1.568.982,00

Sub-total ----- Cr\$ 5.481.021,00

Custo Fixo

11.12.59129,19 = Cr\$ 7.805.053,00

4.12.59726,20 = Cr\$ 2.866.857,00

Sub-total ----- Cr\$10.671.910,00

Total ----- Cr\$16.152.931,00

. HIPÓTESE C

Custo Variável

537,3.26.12.18,7563	=	Cr\$ 3.436.859,00
520,8.26.12.10,5029	=	Cr\$ 1.706.612,00
Sub-total -----		Cr\$ 5.143.471,00

Custo Fixo

10.12.59129,19	=	Cr\$ 7.095.503,00
4.12.59726,20	=	Cr\$ 2.866.857,00
Sub-total -----		Cr\$ 9.962.360,00
Total -----		Cr\$15.105.831,00

. HIPÓTESE D

Custo Variável

652,3.26.12.18,7563	=	Cr\$ 3.817.237,00
627,6.26.12.10,5029	=	Cr\$ 2.056.585,00
Sub-total -----		Cr\$ 5.873.822,00

Custo Fixo

11.12.59129,19	=	Cr\$ 7.805.053,00
4.12.59726,20	=	Cr\$ 2.866.857,00
Sub-total -----		Cr\$10.671.910,00
Total -----		Cr\$16.545.732,00

ANEXOS

QUADROS DE DADOS DE ENTRADA / SAÍDA DO PROGRAMA

QUADRO: 9 Comparação entre algoritmos de PRV

PROBLEMA Nº (*)	NÚMERO DE LOCais (a)	MODELO A			MODELO B			MODELO C		
		DISTÂNCIA PERCORRIDA (milha)	NÚMERO DE ROTAS	TEMPO DE CPU min (b)	DISTÂNCIA PERCORRIDA DE ROTAS (milha)	NÚMERO DE CPU min (b)	DISTÂNCIA PERCORRIDA (milha)	TEMPO DE CPU min (c)		
1	21	592	4	0,1	585	4	0,6	591	4	0,21
2	22	955	5	0,1	949	5	0,5	956	5	0,17
3	29	963	5	0,2	875	4	0,8	875	4	0,51
4	32	839	5	0,2	810	4	0,8	810	4	0,62
5	50	585	6	0,6	556	5	2,0	546	5	2,00
7	75	900	10	1,3	876	10	4,0	865	10	1,23
11	100	887	8	2,5	863	8	10,0	862	8	6,00

(a) Não incluído o depósito

(b) IBM 7090

(c) IBM 360/67

Nota : Método A - usa o critério de economia (técnica sequencial), Método C - 3-óptimal de CHRISTOFIDES e EILON, Método C - Algoritmo SWEEP de GILLETT e MILLER.

(*) nº do problema utilizados para análise por GILLETT e MILLER .

QUADRO 10 : Características da área de estudo

DATA 26 JAN 81
LISTING OF INPUT CARDS

VSPI/160 COORDINATE SAMPLE PROBLEM

DATA 2 NO. ZONE = 229 NO. BARRAIS = 10 NO. CONT. AREAS = 2 NO. GRIDS =

MAX. NO. OF LINES PER PAGE SET TO 56

PARAPTER CARD

NO. ZONE = 229 NO. BARRAIS = 10 NO. CONT. AREAS = 2 NO. GRIDS =

DATA 202 CHECKPOINTS WILL NOT BE TAKEN

MAX. NO. OF LINES PER PAGE SET TO 56

GRID CARDS

00000

TRANSIT CARDS

00000

	X	Y	Z	X	Y	Z
AA	26.4	11.3	AA	16.0	02.9	
AA	19.1	22.9	AA	06.3	02.9	
AA	23.2	25.3	AA	24.2	06.7	
AA	21.2	25.4	AA	24.8	03.9	
AA	25.7	25.3	AA	25.2	05.9	
AA	25.3	25.7	AA	25.9	07.1	
AA	26.5	27.3	AA	27.6	07.3	
AA	27.5	27.3	AA	26.8	06.3	
AA	29.2	27.0	AA	28.4	07.8	
AA	29.1	27.1	AA	30.4	07.0	

NUMBER OF BRILLER CARDS 00010

CONT. AREAS CARDS

	X	Y	Z
AA	72.5	15.7	8.5
AA	15.0	4.9	4.0

NUMBER OF CONG. AREAS CARDS 00002

QUADRO 11 : Coordenadas cartesianas das zonas de entregas (ipa)

nema, Leblon, Copacabana e Iceme)

172 VÍDEO SISTEMAS MULTIMÉDIA - EDUARDO MACHADO

DAVIS VERSUS

LISTING OF REPORT CHARTS

49
P
53

卷之三

102

四庫全書

QUADRO 12 : Coordenadas cartesianas das zonas de entregas
(Bo-
tafogo, Gávea, São Conrado e Barra)

DATA	V3PI NETWORK ANALYSIS PROGRAM - COORDINATE METHOD -	LISTING OF INPUT CARDS	DATE JAN 26, 81
AA	25.5	502	AA 25.7 07.7 AA 26.0 07.4 AA 26.8 07.9
AA	25.9	505	AA 26.8 08.0 AA 26.8 08.1
AA	26.1	508	AA 27.3 08.2
AA	26.4	511	AA 22.4 05.4 AA 22.4 05.4
AA	26.5	513	AA 23.0 06.5 AA 23.1 06.5
AA	27.1	517	AA 23.2 06.5 AA 23.2 06.5
AA	27.4	520	AA 24.0 05.9 AA 24.0 05.9
AA	27.8	523	AA 24.5 05.8 AA 24.5 05.8
AA	28.0	526	AA 25.2 06.0 AA 25.2 06.0
AA	28.1	529	AA 25.9 06.5 AA 25.9 06.5
AA	28.4	532	AA 26.7 07.0 AA 26.7 07.0
AA	28.8	535	AA 27.9 06.8 AA 27.9 06.8
AA	29.0	538	AA 28.6 07.3 AA 28.6 07.3
AA	29.1	541	AA 29.3 08.5 AA 29.3 08.5
AA	29.4	544	AA 27.1 09.3 AA 27.1 09.3
AA	29.7	547	AA 27.8 09.0 AA 27.8 09.0
AA	29.8	550	AA 28.6 07.9 AA 28.6 07.9
AA	30.0	553	AA 29.0 01.4 AA 29.0 01.4
AA	30.1	556	AA 27.2 09.6 AA 27.2 09.6
AA	30.3	559	AA 26.3 08.1 AA 26.3 08.1
AA	30.5	562	AA 27.0 07.5 AA 27.0 07.5
AA	30.7	565	AA 27.3 07.7 AA 27.3 07.7
AA	30.9	568	AA 19.5 03.0 AA 19.5 03.0
AA	31.1	571	AA 19.1 02.6 AA 19.1 02.6
AA	31.3	574	AA 14.6 00.7 AA 13.7 01.6
AA	31.5	577	AA 11 00.6 AA 11 00.6
AA	31.7	580	AA 13 00.7 AA 13 00.7
AA	31.9	583	AA 12.2 00.8 AA 12.7 00.8
AA	32.1	586	
AA	32.3	589	
AA	32.5	592	
AA	32.7	595	
AA	32.9	598	
AA	33.1	601	
AA	33.3	604	
AA	33.5	607	
AA	33.7	610	
AA	33.9	613	
AA	34.1	616	
AA	34.3	619	
AA	34.5	622	
AA	34.7	625	
AA	34.9	628	
AA	35.1	631	
AA	35.3	634	
AA	35.5	637	
AA	35.7	640	
AA	35.9	643	
AA	36.1	646	
AA	36.3	649	
AA	36.5	652	
AA	36.7	655	
AA	36.9	658	
AA	37.1	661	
AA	37.3	664	
AA	37.5	667	
AA	37.7	670	
AA	37.9	673	
AA	38.1	676	
AA	38.3	679	
AA	38.5	682	
AA	38.7	685	
AA	38.9	688	
AA	39.1	691	
AA	39.3	694	
AA	39.5	697	
AA	39.7	700	
AA	39.9	703	
AA	40.1	706	
AA	40.3	709	
AA	40.5	712	
AA	40.7	715	
AA	40.9	718	
AA	41.1	721	
AA	41.3	724	
AA	41.5	727	
AA	41.7	730	
AA	41.9	733	
AA	42.1	736	
AA	42.3	739	
AA	42.5	742	
AA	42.7	745	
AA	42.9	748	
AA	43.1	751	
AA	43.3	754	
AA	43.5	757	
AA	43.7	760	
AA	43.9	763	
AA	44.1	766	
AA	44.3	769	
AA	44.5	772	
AA	44.7	775	
AA	44.9	778	
AA	45.1	781	
AA	45.3	784	
AA	45.5	787	
AA	45.7	790	
AA	45.9	793	
AA	46.1	796	
AA	46.3	799	
AA	46.5	802	
AA	46.7	805	
AA	46.9	808	
AA	47.1	811	
AA	47.3	814	
AA	47.5	817	
AA	47.7	820	
AA	47.9	823	
AA	48.1	826	
AA	48.3	829	
AA	48.5	832	
AA	48.7	835	
AA	48.9	838	
AA	49.1	841	
AA	49.3	844	
AA	49.5	847	
AA	49.7	850	
AA	49.9	853	
AA	50.1	856	
AA	50.3	859	
AA	50.5	862	
AA	50.7	865	
AA	50.9	868	
AA	51.1	871	
AA	51.3	874	
AA	51.5	877	
AA	51.7	880	
AA	51.9	883	
AA	52.1	886	
AA	52.3	889	
AA	52.5	892	
AA	52.7	895	
AA	52.9	898	
AA	53.1	901	
AA	53.3	904	
AA	53.5	907	
AA	53.7	910	
AA	53.9	913	
AA	54.1	916	
AA	54.3	919	
AA	54.5	922	
AA	54.7	925	
AA	54.9	928	
AA	55.1	931	
AA	55.3	934	
AA	55.5	937	
AA	55.7	940	
AA	55.9	943	
AA	56.1	946	
AA	56.3	949	
AA	56.5	952	
AA	56.7	955	
AA	56.9	958	
AA	57.1	961	
AA	57.3	964	
AA	57.5	967	
AA	57.7	970	
AA	57.9	973	
AA	58.1	976	
AA	58.3	979	
AA	58.5	982	
AA	58.7	985	
AA	58.9	988	
AA	59.1	991	
AA	59.3	994	
AA	59.5	997	
AA	59.7	1000	

LISTINGS OF ZONE CARDS
 T81212 0016155 SERVICES REQUESTED, 100.0 PERCENT

00229

QUADRO 13 : Quantidade demandada por ponto de entrega (clientes) bairros

Ipanema/Leblon

ZONA	CUST.	R. 2JAN.	ZONA	CUST.	R. 2JAN.	ZONA	CUST.	R. 2JAN.
101	TL 12011	25	121	TL 1423	10	103	TL 1246	45
102	TL 1202	35	121	TL 1523	15	104	TL 1237	20
102	TL 1302	30	121	TL 1224	15	105	TL 1244	15
102	TL 1204	50	122	TL 1225	25	106	TL 1249	25
103	TL 1204	50	122	TL 1325	15	107	TL 1250	15
104	TL 1205	25	122	TL 1226	30	107	TL 1350	20
104	TL 1405	15	123	TL 1424	10	108	TL 1351	20
108	TL 1305	15	123	TL 1227	25	109	TL 1251	35
104	TL 1200	20	124	TL 1228	20	109	TL 1252	20
105	TL 1203	25	125	TL 1229	10	109	TL 1253	30
105	TL 1303	25	126	TL 1229	10	109	TL 1353	15
105	TL 1226	25	126	TL 1329	15	109	TL 1254	20
106	TL 1227	20	126	TL 1423	15	109	TL 1354	25
106	TL 1317	10	127	TL 1230	25	109	TL 1255	25
106	TL 1527	10	128	TL 1231	40	109	TL 1255	30
106	TL 1278	20	129	TL 1331	40	109	TL 1356	15
106	TL 1213	30	129	TL 1232	20	109	TL 1257	40
108	TL 1211	20	130	TL 1233	40	109	TL 1258	25
109	TL 1212	25	131	TL 1234	50	109	TL 1259	10
109	TL 1312	25	132	TL 1235	25	109	TL 1359	35
109	TL 1412	25	132	TL 1335	25	109	TL 1250	20
110	TL 1513	15	133	TL 1236	20	109	TL 1350	15
111	TL 1211	40	133	TL 1336	20	109	TL 1257	15
111	TL 1214	35	133	TL 1436	10	109	TL 1450	20
112	TL 1215	50	134	TL 1237	25	109	TL 1261	20
113	TL 1215	20	135	TL 1239	45	109	TL 1351	25
113	TL 1316	15	136	TL 1239	30	109	TL 1252	10
113	TL 1415	10	137	TL 1240	10	109	TL 1352	30
114	TL 1217	40	137	TL 1340	25			
115	TL 1218	30	137	TL 1540	15			
115	TL 1119	20	138	TL 1211	15			
115	TL 1418	20	139	TL 1441	10			
116	TL 1219	20	139	TL 1541	10			
117	TL 1220	15	139	TL 1242	40			
117	TL 1320	15	140	TL 1243	35			
117	TL 1420	10	141	TL 1244	15			
118	TL 1221	30	141	TL 1344	20			
118	TL 1222	35	142	TL 1240	15			
119	TL 1322	15	142	TL 1245	35			
120	TL 1323	20	142	TL 1345	35			

Copacabana/Leme

QUADRO 14 : Quantidade demandada por ponto de entrega (clientes) bairros

ZONA	CUST.	P. QUAN.	ZONE	CUST.	P. QUAN.	ZONA	CUST.	P. QUAN.	ZONA	CUST.	P. QUAN.
1C1	CL2212	20	351	CL2254	10	155	CL2216	35	356	CL2217	35
103	CL2213	30	331	CL2354	10	356	CL2219	35	358	CL2220	15
101	CL2234	40	321	CL2054	20	359	CL2220	15	359	CL2120	15
104	CL2215	10	332	CL2255	15	359	CL2130	10	360	CL2221	15
1C4	CL2315	15	332	CL2355	15	360	CL2221	15	360	CL2392	25
1C9	CL2535	15	333	CL2256	50	360	CL2421	15	360	CL2421	20
1C5	CL2236	20	334	CL2357	35	360	CL2421	20	361	CL2222	10
105	CL2237	20	335	CL2359	15	361	CL2322	20	361	CL2122	20
1C6	CL2337	35	335	CL2459	10	361	CL2122	20	362	CL2223	23
306	CL2417	20	335	CL2259	25	362	CL2223	23	363	CL2324	20
3C7	CL2218	25	336	CL2359	25	363	CL2223	23	363	CL2223	15
309	CL2219	45	336	CL2359	25	364	CL2425	15	364	CL2225	20
109	CL2240	25	337	CL2270	15	365	CL2225	20	365	CL2225	15
310	CL2241	40	337	CL2370	20	366	CL2225	15	366	CL2225	10
310	CL2341	25	338	CL2271	20	367	CL2226	15	367	CL2226	15
310	CL2411	10	338	CL2371	30	368	CL2325	25	368	CL2325	15
311	CL7242	30	139	CL2272	50	369	CL2425	15	369	CL2425	15
311	CL2342	30	340	CL2273	35	370	CL2225	20	370	CL2225	15
311	CL2243	20	341	CL2274	20	370	CL2225	20	371	CL2225	15
312	CL2343	20	341	CL2374	25	371	CL2226	10	371	CL2226	10
314	CL2244	15	341	CL2275	10	372	CL2226	10	372	CL2226	15
315	CL2245	60	342	CL2276	35	373	CL2227	15	373	CL2227	15
314	CL2246	25	343	CL2376	15	374	CL2310	10	374	CL2310	25
315	CL2247	25	344	CL2277	30	375	CL2310	25	375	CL2310	25
315	CL2347	35	345	CL2377	15	376	CL2310	25	376	CL2310	25
315	CL2248	20	346	CL2278	15	377	CL2230	20	377	CL2230	20
315	CL2249	15	346	CL2378	15	378	CL2231	20	378	CL2231	20
317	CL2250	40	347	CL2279	20	379	CL2231	20	379	CL2231	15
319	CL2250	20	348	CL2379	10	379	CL2231	15	379	CL2231	10
319	CL2251	15	349	CL2303	20	379	CL2231	15	379	CL2231	10
319	CL2251	15	349	CL2303	15	380	CL2231	15	380	CL2231	15
320	CL2452	15	347	CL2313	20	380	CL2231	15	380	CL2231	15
320	CL2252	20	347	CL2314	30	381	CL2231	15	381	CL2231	15
320	CL2253	25	348	CL2274	20	381	CL2231	15	381	CL2231	15
320	CL2253	25	348	CL2274	20	382	CL2231	15	382	CL2231	15
320	CL2254	35	351	CL2277	15	382	CL2231	15	382	CL2231	15
322	CL2254	35	351	CL2317	15	383	CL2231	15	383	CL2231	15
322	CL2255	20	351	CL2277	20	384	CL2231	15	384	CL2231	15
322	CL2255	20	351	CL2317	10	384	CL2231	15	384	CL2231	15
322	CL2256	50	351	CL2279	40	385	CL2231	15	385	CL2231	25
324	CL2257	35	352	CL2210	45	385	CL2231	15	385	CL2231	25
325	CL2258	40	352	CL2211	35	386	CL2231	15	386	CL2231	25
325	CL2259	50	353	CL2212	20	387	CL2231	15	387	CL2231	25
326	CL2259	35	353	CL2212	20	388	CL2231	15	388	CL2231	25
327	CL2260	35	354	CL2213	30	389	CL2231	15	389	CL2231	25
329	CL2261	15	354	CL2313	30	390	CL2231	15	390	CL2231	25
328	CL2261	15	354	CL2214	25	391	CL2231	15	391	CL2231	25
328	CL2261	20	354	CL2215	15	392	CL2231	15	392	CL2231	15

QUADRO 15 : Quantidade demandada por ponto de entrega (clientes) bairros

Gávea/Botafogo	RCN2	CNT.	T. 29/ABR.	3CNP	CNSP.	T. 29/ABR.	2CNP	CNT.	T. 29/ABR.
501	G31111	25	524	G31327	20	543	G31352	25	543
502	G31112	32	524	G31427	15	542	G31513	25	542
502	G31112	25	525	G31328	25	542	G31513	25	542
503	G31113	35	526	G31329	30	550	G31354	20	550
503	G31113	25	527	G31310	45	550	G31454	20	550
504	G31114	15	528	G31431	25	551	G31355	35	551
504	G31114	10	528	G31511	25	552	G31356	25	552
505	G31115	15	529	G31531	30	562	G31357	50	562
505	G31115	20	529	G31331	20	563	G31358	15	563
506	G31115	15	530	G31333	15	563	G31438	25	563
506	G31115	40	530	G31413	20	563	G31538	15	563
507	G31117	25	514	G31633	15	564	G31654	15	564
507	G31119	20	531	G31334	30	564	G31950	25	564
507	G31119	30	531	G31434	25	566	G31950	15	566
507	G31119	32	521	G31335	20	554	G31659	20	554
508	G31119	15	532	G31335	75	555	G31751	30	555
509	G31219	25	532	G31337	30	555	G31355	15	555
509	G31319	15	532	G31338	10	565	G31352	25	565
510	G31310	20	534	G31438	10	565	G31453	20	565
510	G31310	25	534	G31538	20	566	G31453	15	566
510	G31311	30	535	G31339	30	566	G31664	25	566
511	G31311	30	535	G31340	20	557	G31655	20	557
512	G31312	20	536	G31419	30	557	G31655	20	557
512	G31312	10	536	G31540	10	566	G31657	20	566
513	G31313	30	537	G31341	15	566	G31657	15	566
514	G31314	15	537	G31341	25	566	G31753	20	566
514	G31314	30	535	G31340	30	557	G31655	35	557
515	G31315	20	535	G31340	20	557	G31655	20	557
515	G31315	10	536	G31419	30	566	G31751	20	566
516	G31316	30	535	G31540	10	562	G31352	20	562
516	G31316	25	537	G31341	15	563	G31753	20	563
516	G31316	25	537	G31341	25	566	G31753	20	566
517	G31317	20	517	G31541	15	566	G31753	35	566
517	G31317	30	538	G31342	15	566	G31753	40	566
518	G31318	15	518	G31442	15	566	G31751	10	566
518	G31318	25	538	G31442	15	561	G31751	20	561
519	G31319	15	538	G31542	15	562	G31352	20	562
519	G31319	25	539	G31343	25	563	G31753	20	563
519	G31319	15	539	G31443	25	566	G31753	20	566
519	G31319	25	539	G31443	25	566	G31753	15	566
520	G31320	30	540	G31144	25	567	G31757	20	567
520	G31320	35	540	G31444	15	567	G31757	20	567
521	G31323	15	561	G31315	40	568	G31758	30	568
522	G31424	10	544	G31319	35	569	G31759	20	569
522	G31524	25	545	G31319	30	570	G31770	10	570
522	G31524	30	545	G31449	60	570	G32470	15	570
523	G31125	40	546	G31350	60				
523	G31326	30	547	G31351	15				
523	G31426	30	547	G31351	10				

QUADRO 16 : Quantidade demandada por ponto de entrega (cliente) bairros
São Conrado/Barras

ZONE.	CMSF.	P. QUAN.
701	BS5001	25
701	BS5021	15
701	BS5121	15
702	BS5002	40
703	BS5003	45
703	BS5023	20
704	BS5004	35
704	BS5104	10
705	BS5005	25
705	BS5025	20
706	BS5016	40
707	BS5007	30
708	BS5008	15
708	BS5028	10
709	BS5009	20
710	BS5010	25
711	BS5011	30
711	BS5111	15
712	BS5012	15
712	BS5022	10
713	BS5013	20
714	BS5014	30
714	BS5114	15
715	BS5015	25
715	BS5035	15
716	BS5016	35
717	BS5017	10
718	BS5019	35

QUADRO 17 : Parâmetros de operação do sistema de distribuição

PARAMETERS

0.15	LOADING/UNLOADING TIME PER UNIT (MINS.)	(ASSUMED)
25	MAXIMUM NUMBER OF DELIVERIES PER ROUTE	(ASSUMED)
13.00	WORKING TIME PER DAY (HRS. MINS.)	
6.30	EARLIEST STARTING TIME FOR FLEET (DAY HRS. MINS.)	
19.30	LATEST FINISHING TIME FOR FLEET (DAY HRS. MINS.)	
13.00	MAXIMUM ROUTE DURATION FOR FLEET (DAYS HRS. MINS.)	
7	AVERAGE ADDITIONAL TIME PER DELIVERY POINT (MINS.)	
3	AVERAGE TRAVEL TIME BETWEEN DELS. IN A ZONE (MINS.)	
1.00	SPEED ADJUSTMENT FACTOR	(ASSUMED)
56	MAX. NUMBER OF LINES PER PAGE	(ASSUMED)
0.05	RELOADING TIME PER UNIT (MINS.)	
15	ADDITIONAL STOP TIME AT DEPOT (MINS.)	
00.1	AVERAGE MILEAGE BETWEEN DELS. IN A ZONE (KM)	
NONE	MAXIMUM MILEAGE OF A ROUTE (KM)	
NONE	LOW PRIORITY INDICATORS	

QUADRO 18 : Características de operação dos veículos

VSPX/360 - PROGRAM SAMPLE

OPTIONS REQUESTED

MULTIPLE TRIPS

QUADRO 19 : Sumário de utilização da frota (alternativa A)

VSPIX/360 - PROGRAM SAMPLE											JAN 81	
FLEET UTILIZATION SUMMARY				ROUTE TIME							HO. OF CALLS	
VEHICLE TYPE	CAP.	MAX.VEH. HRS	TIME MINS	NO. OF VEHICLES	ROUTE NUMBER	IND.	ASSIGNED TOT.LOAD	MILEAGE, KMS	TRAVEL TIME, HRS MINS	ROUTE TIME HRS	KMS	
1	320	11	30	15								
					1)		320	81.3	2 18	4	52	25
					)		320	72.5	2 9	4	38	14
					2)		320	62.7	1 56	4	38	16
					)		320	64.8	1 56	4	28	15
					3)		315	55.8	1 48	4	28	16
					)		320	55.8	1 46	4	27	16
					4)		320	59.2	1 51	4	25	15
					)		320	58.1	1 46	4	21	15
					5)		320	63.1	2 1	4	21	13
					)		320	58.5	1 48	4	21	15
					6)		320	62.6	1 59	4	20	13
					)		315	63.3	1 58	4	18	13
					7)		320	51.0	1 38	4	12	15
					)		295	65.8	1 51	4	7	13
					8)		320	62.0	1 55	4	7	12
					)		320	54.9	1 38	4	6	14
					9)		320	52.0	1 33	3	59	14
					)		320	48.7	1 31	3	58	14
					10)		315	56.4	1 38	3	57	13
					)		315	66.7	1 43	3	56	12
					11)		320	55.1	1 36	3	56	13
					)		320	60.0	1 41	3	55	12
					12)		320	48.5	1 28	3	51	14
					)		315	54.4	1 37	3	51	12
					13)		320	52.4	1 28	3	43	12
					)		320	48.9	1 21	3	42	13
					14)		310	46.0	1 22	3	40	13
					)		315	53.1	1 28	3	35	11
					15)		320	50.1	1 24	3	31	11
					)		315	47.6	1 13	3	26	12
TOTAL FLEET CAPACITY					TOTALS		9520	1732.3	51 17	923	9	404

QUADRO 20 : Sumário de utilização da frota (alternativa B-1)

TSPK/160 - PROGRAM SAMPLE										
FLEET UTILIZATION SUMMARY			JAN , 81							
VEHICLE TYPE CAP.	MAX. VEH. TIME HRS MINS	NO. OF VEHICLES	ROUTE NUMBER	ID#.	ASSIGNED TOT. LOAD	MILEAGE KMS	TRAVEL TIME HRS MINS	ROUTE TIME HRS MINS	NO. OF CALLS	
#	320	11 30	11							
1)	320	45.4	1	41	4	10	14			
2)	320	42.4	1	27	4	1	15			
3)	295	68.4	1	42	3	54	13			
4)	320	23.4	1	13	3	55	16			
5)	310	13.9	1	20	3	52	15			
6)	315	49.4	1	30	3	57	12			
7)	315	12.8	0	32	2	45	12			
8)	315	20.3	1	5	3	45	16			
9)	320	22.5	1	7	3	61	15			
10)	315	18.2	0	50	2	57	11			
11)	320	21.1	1	1	3	36	15			
12)	320	27.3	1	2	3	36	15			
13)	320	12.3	0	46	3	13	19			
14)	320	16.6	0	53	3	34	16			
15)	320	25.1	1	9	3	29	13			
16)	320	17.3	0	50	3	18	18			
17)	315	25.3	1	0	3	26	13			
18)	320	23.0	1	6	3	27	13			
19)	320	19.5	0	52	3	26	15			
20)	315	19.8	0	52	3	11	11			
21)	320	13.8	0	44	3	10	14			
22)	320	23.1	0	56	3	10	12			
23)	320	22.2	0	57	3	9	12			
24)	320	34.1	0	68	3	8	13			
25)	320	9.8	0	38	3	5	14			
26)	320	15.7	0	48	3	5	13			
27)	320	17.0	0	50	3	5	12			
28)	315	16.6	0	51	2	5	12			
29)	310	2.7	0	35	2	53	13			
30)	320	10.9	0	33	2	40	11			
TOTAL FLEET CAPACITY			TOTALS	-9520	660.5	29 51	101 81	406		

*) INDICATES MULTIPLE TRIPS FOR ONE VEHICLE

TSPK/160 - PROGRAM SAMPLE										
FLEET UTILIZATION SUMMARY			JAN , 81							
VEHICLE TYPE CAP.	MAX. VEH. TIME HRS MINS	NO. OF VEHICLES	ROUTE NUMBER	ID#.	ASSIGNED TOT. LOAD	MILEAGE KMS	TRAVEL TIME HRS MINS	ROUTE TIME HRS MINS	NO. OF CALLS	
#	800	13 00	8							
1)	800	39.9	0	89	2	24	1			
2)	800	19.9	0	89	2	24	1			
3)	800	39.9	0	89	2	24	1			
4)	800	39.9	0	89	2	24	1			
5)	800	39.9	0	89	2	24	1			
6)	800	39.9	0	89	2	24	1			
7)	800	19.9	0	89	2	24	1			
8)	800	39.9	0	89	2	24	1			
9)	800	39.9	0	89	2	24	1			
10)	800	39.9	0	89	2	24	1			
11)	800	39.9	0	89	2	24	1			
12)	720	39.9	0	89	2	16	1			
TOTAL FLEET CAPACITY			TOTALS	9520	678.8	9 48	28 40	12		

*) INDICATES MULTIPLE TRIPS FOR ONE VEHICLE

QUADRO 21 : Sumário de utilização da frota (alternativa B-2)

I INDICATES MULTIPLE TRIPS FOR ONE VEHICLE

EXPT/160 - PROGRAM SAMPLE										
FLEET UTILIZATION SUMMARY				JAN 1971						
VEHICLE TYPE CAP.	ROUTE CAP.	NO. OF VEHICLES	ROUTE NUMBER	IND.	ASSIGNED TOT. LOAD	RATIO	TRAVEL TIME HRS. MINS	ROUTE TIME HRS. MINS	NO. OF CALLS	
2 800	13 00	6								
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				8)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				5)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				4)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				7)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				8)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				9)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				70)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				81)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				1)	800	83.4	0 53	2 28	1	
				12)	820	83.4	0 53	2 28	1	

OUADRO 22 : Sumário de utilização da frota (alternativa B-3)

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Newell , G. F., Scheduling, Location, Transportation, and contirmom mecha; vias some simple approximations to optimization problems,SIAM J. Appl. Math.,Vol.25, nº 3 pp-346-360 (1973)
- 2 - Weber A.,Theory of. the location of industries, por Meyburg,A., Lavery , L , e Parker, T, Toward a unified distribution system- Warehouse location thuory , TRR Vol. 496 pp 45 (1974)
- 3 - Vergim , R., e Rogers. J.An algorithm and computational procedure for location economie facilites,Mgnt. Sei, Vol. 13, nº6 pp. B-240 e B 252.(1967)
- 4 - Elson , D. G. , Site Location via Mixed-integer programming , Operat. Res. Quant. Vol. 23,nº1 pp31-43 , (1972)
- 5 - Bowman, E.H., e Stewart, J.B., A Model of Scale of Operation, Journal of Marketing, Vol.20, nº3 pp 242-247 ,(1956)por Weber , J.F., Logística Industrial - Análise e administração dos sistemas de suprimento e distribuição, São Paulo,Pioneira , 1977.

- 6 - Kuehn , A. A., e Hamburger, M.J., A Heuristic Program for Location Warehouse , Mgnt Sci., vol.9, nº 4 pp643-666 , (1963) .
- 7 - Novaes , A. G. N., Designing aspects of a retail delivery Service , Rev. Brasil.Tecnol. , Vol.6 pp 155-167 (1975)
- 8 - Dantizing , G. B. e Ranser, J.H., The truck dispatching problem , Mgnt. Sci. , Vol. 6 nº1 pp80-91(1959)
- 9 - Christofides , N. e Eilon, S., An Algorithm for the vehicle-dispatching problem, Operat. Res.Quart.Vol. 20,pp. 309-318 (1972)
- 10 - Clarke, O e Wright, J.W., Schedumling of vehicle from a central depot to a rumber of delivery delivery points, Operat.Res. Vol.12 pp. 568-581 (1969)
- 11 - Gaskell, T.J., Bases for vehicle flut Schedumling , Operat. Res. Quant., Vol.18 nº 3,pp.281-295 (1967)
- 12 - Gillet, B. E. e Miller, L.R., A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem , Operat. Res.,Vol. 22, nº 3 pp 340-349 (1972)

- 13 - Holmes, R. A., e Parker, R.G., A vehicle Scheduling procedure based upon savings and a solution perturbation scheme, Operat. Res. Quart., Vol.27 pp 83-92 (1976)
- 14 - Magee , J. F., Logística Industrial : Análise e Administração dos Sistemas de Suprimento e Distribuição, São Paulo, Pioneira, 1977
- 15 - Dehays, D.W.E. e Taylor, R., Moving beyond the physical distribution Organization - Transportation Journal , Sping, 1974 por Cordovil, C.A.G. eBodner, P., O Contexto Mercadológico da Distribuição Física: Um Estudo Sobre a Redução dos custos nas operações de Transportes .- 1978
- 16 - Cordovil, C.A.G. e Bodmer, P.O contexto mercadológico da Distribuição Física : Um estudo sobre as reduções dos Custos nas Operações de transportes - 1978.
- 17 - Moura, R.A., Sistemas e Tecnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais (Materials handling) , São Paulo, IMAM (1979)
- 18 - Eilon , S., Watson- Grandy, C,D,T, e Christofides , N., Distribution Manegment:Mathematical modelling and Pratical Analysis, Griffin, Londom,(1971) por

Galvão , R.D., O problema do Roteamento de Veículos-Caracterizaçā- e métodos de solução, XIII Simpório Brasileiro de Pesquisa Operacional, Anuais, Vol-2 pp. 340-402 (1980)

- 19 - Garvin, W.W., Crandall, H.W., John, J.B. e Spellman , R.A., Applications of Linear Programming in the Al Industry , Mngt Sci., Vol.3 pp.407-430 (1957)
- 20 - Webb, M.H.J., "Relative Performance of Some Sequential Methods of Planing Multiple Delivery Journeys,Operat. Res. Quart. Vol. 23 pp.361-372 (1972)
- 21 - TRANSPORTE MODERNO, nº 195, Editora Transporte Moderno, 1980.
- 22 - IBM - Vehicle Scheduling Program - Extended, Program Numebers 5734 - XM 5 (05) e 5736 - XM 3 (DOS), Program Product Center IBM, Germany - Sindelfinger 1970.
- 23 - Newwell, G.F., Notas de aula da CE-264 - tráfic Flaw on Transportation Networks, IIS-UCB, Berkeley California, 1975.

Tese apresentada por :

Augusto Cesar Basílio Soares
AUGUSTO CESAR BASÍLIO SOARES

E aprovada por:

João Bernardo Felex
JOÃO BERNARDES FELEX - M.Sc.

Masaharu Fukuyama
MASAHARU FUKUYAMA - Ph.D.

André Luiz de Oliveira Barra
ANDRÉ LUIZ DE OLIVEIRA BARRA - M.Sc.